Physikalische Technik

oder

Anleitung

zur Anstellung von

physikalischen Versuchen.

Physikalische Technik

oder

Anleitung

zur Anstellung von

physikalischen Versuchen

und zur

Herstellung von physikalischen Apparaten

mit

möglichst einfachen Mitteln.

Von

Professor Dr. J. Frick,

Vorstand der höheren Bürgerschule zu Freiburg im Breisgau und Lehrer der Physik am Lyceum daselbst.

Mit 568 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1850.

Vorrede.

Gründliche Kenntnisse in den Naturwissenschaften lassen sich nur durch eigene Thätigkeit an dem Objecte der Wissenschaft erlangen und keineswegs durch einseitiges Bücherstudium. Gründliche Kenntnisse in der Naturlehre sind aber heutzutage für so viele Stände Bedürfniß geworden, daß die Anstellung physikalischer Versuche nicht nur für den Lehrer der Physik eine Nothwendigkeit geworden ist, sondern eben so sehr für den angehenden Chemiker und Arzt und den praktischen Mechaniker. Außerdem hat sich die Physik zu jeder Zeit einer großen Zahl von Freunden zu erfreuen, die, ohne daß ihr Beruf sie hiezu nöthigt, entweder aus Liebe zur Wissenschaft an sich oder zur Unterhaltung sich mit physikalischen Versuchen abgeben. Während jedoch der Liebhaber sich meist nur mit Versuchen aus einzelnen Zweigen der Physik beschäftigt, muß sich der Lehrer eine viel allseitigere Uebung in der Anstellung von Versuchen erwerben; denn täglich wird der Werth, den die Naturlehre für unsere Unterrichtsanstalten sowohl in formeller als materieller Beziehung hat, mehr anerkannt, wenngleich der materielle Nutzen ihr in den Schulen zuerst den Platz erringen mußte. Soll aber der Unterricht in der Naturlehre wirklich das leisten, was man von ihm erwartet, so muß derselbe — die Methode mag sonst sein, welche sie will — nothwendig durch Versuche unterstützt werden; die Zeiten, wo man mit Kreide allein glaubte ausreichen zu können, sind zum Heile unserer Schulen vorbei.

Um aber den Unterricht durch Versuche zu unterstützen, gehört, außer den nöthigen Geldmitteln zur Anschaffung der Apparate, auch die Uebung in der Behandlung derselben. Viele Lehrer hatten nach Vollendung ihrer Studien keine Gelegenheit, diese Uebung zu erlan-

gen, und müssen erst damit anfangen, wenn ihnen als Lehrer Apparate zu Handen kommen, und wie oft hängt außerdem die Vertheilung der Unterrichtsfächer davon ab, welcher Lehrer etwa noch 2—4 Stunden wöchentlich übernehmen kann! Ist dann etwa auch noch die erste Anschaffung einem solchen Lehrer in die Hand gegeben, so werden manchmal bei seinem besten Willen die vorhandenen, gewöhnlich spärlichen Mittel, nicht zweckmäßig verwendet, während sie selbst bei zweckmäßiger Verwendung kaum zur Anschaffung des für den Unterricht nöthigsten Apparates ausreichen, und der Lehrer für seine weiteren Studien gar nicht berücksichtigt wird. Diesem Uebelstande läßt sich nur dadurch abhelfen, daß der Lehrer es übernimmt, alle jene Apparate, die nicht gerade besondere Einrichtung der Werkstätte, vorzügliche Arbeitsfähigkeit und sehr genaue Ausführung erfordern, selbst anzufertigen, oder mit Hülfe eines guten Schreiners, Drechslers, Schlossers unter seiner Leitung anfertigen zu lassen. Soll dieses möglich sein, so müssen die Apparate meist auf die einfachste, dem Zwecke noch entsprechende Form zurückgeführt werden.

Mehr oder weniger sind auch Andere, welche physikalische Versuche anstellen wollen, in demselben Falle, wie der Lehrer, und beim Liebhaber physikalischer Versuche gehört das Selbstanfertigen der erforderlichen Apparate so recht eigentlich mit zur Sache.

Es ist nun der Zweck des vorliegenden Buches, einerseits Anleitung zur Anstellung physikalischer Versuche zu geben, und alle die Umstände aufzuzählen, welche das Gelingen derselben sichern, sowie dasjenige zu erörtern, was bei der Anschaffung und der Behandlung der Apparate zu berücksichtigen ist; andererseits soll Anleitung gegeben werden, die meisten Apparate auf billige und zweckmäßige Weise herzustellen.

Vieles von dem, was hier besprochen werden muß, findet sich vereinzelt in den Lehrbüchern der Physik, ist aber denselben mehr oder weniger fremd; vieles kann in einem Lehrbuche keinen Platz finden und vererbte sich gleichsam durch Tradition unter den Physikern.

Aus dem seither Gesagten geht zugleich hervor, daß es sich hier nicht um Versuche handeln könne, durch welche die Wissenschaft gefördert werden soll, sondern nur um Versuche zur Demonstration bekannter Naturgesetze, und selbst solche sind ausgeschlossen worden,

wenn sie Gesetze betreffen, welche nur bei einem tieferen Eingehen in die einzelnen Theile der Naturlehre besprochen werden können. Außerdem wollte ich auch keine vollständige Sammlung aller Versuche und aller Apparate geben, und es wurden natürlich solche Versuche größtentheils ganz mit Stillschweigen übergangen, bei deren Anstellung lediglich kein besonderer Apparat und keine besondere Vorsicht nöthig ist. Unter mehreren Versuchen zur Bestätigung desselben Gesetzes wurden die leichter ausführbaren, anschaulichern und wohlfeilern vorzugsweise berücksichtigt.

Was die Anfertigung von Apparaten betrifft, so habe ich mich immer nur bei solchen aufgehalten, welche man bei einiger Arbeitsfähigkeit entweder selbst, oder doch mit Beihülfe eines tüchtigen Handwerksmeisters zu Stande bringen kann, und dahin gehören doch wohl die meisten nur zur Erläuterung der Naturgesetze oder der Wirkung gewisser Instrumente, wie Fernröhren und dgl. dienende Apparate. Dinge, wie Luftpumpen, Fernröhren, Mikroskope, zu messenden Versuchen dienende Apparate und dergleichen, bezieht man immer fertig vom Mechanikus. Uebrigens kann man mit Hülfe gewandter Arbeiter sehr vieles machen lassen, wenn man sich nur das Nachsehen nicht verdrießen läßt; deswegen sind in vorliegendem Buche viele Apparate auch in Durchschnitten gezeichnet. Das Geld, welches man auf diese Weise erspart, kann dann auf Anschaffung kostbarerer zum Selbstmachen durchaus nicht geeigneter Apparate verwendet werden und man ist so im Stande, mit wenigen Mitteln mehr zu leisten.

In manchen Fällen habe ich neben den allereinfachsten Vorrichtungen auch zusammengesetztere angegeben, die dem Zwecke in höherem Grade entsprechen; die Wahl richtet sich hier nach Zeit und Mitteln, so wie etwa auch nach besonderen Zwecken, die man beim Unterrichte oder sonst vor Augen hat.

Wahr ist es, beim Selbstmachen erhält man, besonders anfänglich, nicht immer elegante oder auch nur saubere Arbeit, selbst wenn man die Mühe nicht scheut, von den einzelnen Arbeiten durch fleißigen Besuch der Werkstätten die nöthigen Kenntnisse zu erwerben; allein man erhält doch in der Regel brauchbare Apparate, während man nur zu oft von Mechanikern Gegenstände erhält, die entweder an sich ohne Sachkenntniß gefertigt sind, oder vor der Versendung nicht gehörig untersucht, oder nicht gehörig verpackt wurden. Der Empfänger hat dann die Mühe, gleich von vornherein daran

zu flicken, wenn dieses überhaupt noch angeht. Bei allen kostbarern Gegenständen muß man sich darum immer nur an Werkstätten von anerkanntem Rufe halten, wenn man auch die einzelnen Apparate etwas theurer bezahlen müßte.

Ich habe zwar nicht beabsichtigt, die für einzelne Arbeiten erforderlichen technischen Verfahrungsweisen zu erörtern, und z. B. gelegentlich auch eine Anleitung zum Drechseln zu geben, und mußte daher die so oft namentlich in Bezug auf Drechseln vorkommenden Kunstausdrücke als bekannt voraussetzen, weil ohne dieses die Beschreibung der Hauptsache meistens zu weitläufig und zerrissen ausgefallen wäre; allein es war doch für den Zweck des Buches erforderlich, die am häufigsten vorkommenden Arbeiten, wie Löthen, Firnissen, Glasblasen, Glasschleifen u. dgl. da näher zu beschreiben, wo sich gerade Gelegenheit dazu gab. Es sind meistens solche Arbeiten, für welche man namentlich in kleinen Orten nur selten Jemanden findet, und daher fast immer selbst vornehmen muß. Was die hiebei angegebenen Verfahrungsweisen betrifft, so weiß ich wohl, daß sie nicht gerade immer die in der Technik wirklich gebräuchlichen und vortheilhaftesten sind, allein es mußte hiebei auf die Ausführung mancher Arbeiten mit möglichst wenigen Hülfsmitteln Rücksicht genommen werden. Man hätte vielleicht diese eigentlich technischen Theile des Buches in einen besonderen Abschnitt vereinigen und nicht gerade da abhandeln sollen, wo sich zuerst Gelegenheit dazu gab; allein eine strenge Trennung wäre nicht möglich gewesen, da ja das ganze Buch eigentlich der Technik angehört, und für das Aufsuchen der einzelnen Arbeiten ist hoffentlich durch das Register hinlänglich vorgesorgt.

Die ungefähre Größe der Apparate ist stets entweder im Texte oder bei den Figuren angegeben, da ich aus Erfahrung weiß, wie sehr man hierin irren kann. In Bezug auf die hiebei gebrauchten Maaße bemerke ich, daß, wo nicht ausdrücklich ein anderes Maaß genannt ist, immer der auch sonst verbreitete badische Fuß zu drei Decimeter gebraucht wurde, wovon 1 Zoll = 3 Centimeter und 1 Linie = 3 Millimeter ist. Da übrigens in den meisten Fällen das Maaß nur ein ungefähres ist, so kann man auch ein anderes Fußmaaß den Zahlen substituiren, und es entsteht also durch dieses particuläre Maaß, auch abgesehen von der leichten Zurückführbarkeit auf den Meter kein Nachtheil. Außerdem ist so ziemlich gleich häufig mit dem Fußmaaße der Meter selbst gebraucht.

Die Namen der Erfinder der einzelnen Vorrichtungen oder

Methoden sind nur selten genannt, gewöhnlich nur da, wo sie der Vorrichtung den Namen gegeben haben — wie z. B. Bohnenbergersches Maschinchen. Einerseits geschah es, weil ich von Manchem wirklich nicht weiß, von wem es angegeben ist, und von Manchem möglicher Weise über den ersten Erfinder im Irrthum bin und hier keine Prioritätsrechte verletzen, aber auch keine historische Untersuchung anstellen wollte.

Was die Anordnung der einzelnen Theile betrifft, so ist sie wohl für den Zweck des Buches nicht gerade sehr wesentlich, und ich habe es daher vorgezogen, mich hierin nach einem der verbreitetsten Lehrbücher zu richten, nämlich nach jenem des Herrn Professors Müller dahier, und zwar nach der dritten Auflage. Aus demselben Buche sind auch mit Genehmigung des Herrn Verfassers manche Figuren entlehnt, weil dadurch das gegenwärtige Buch selbst wohlfeiler werden konnte. Pouillet-Müller's Lehrbuch der Physik enthält auch zugleich so etwa den Umfang physikalischer Kenntnisse, die ich in gegenwärtigem berücksichtigt habe. Derselbe Wunsch, daß das Buch möglichst billig, also auch einer allgemeinern Verbreitung fähig werden möchte, bestimmte mich auch, solche Apparate, wie z. B. die Luftpumpe, deren Wesen in jedem Lehrbuche der Physik beschrieben ist, hier nicht wieder zu beschreiben, sondern, ihre Kenntniß voraussetzend, sogleich die bei ihrer Behandlung oder Anfertigung zu beachtenden Rücksichten anzugeben. Den sonst in der Regel in Lehrbüchern der Physik enthaltenen chemischen Abschnitt habe ich aus demselben Grunde übergangen, weil es für diese Art von Versuchen eigene sehr zweckmäßige Anleitungen gibt.

Ob es mir nun gelungen ist, unter den zahlreichen Versuchen eine zweckmäßige Auswahl zu treffen und die bei denselben zu befolgenden Verfahrungsweisen deutlich zu beschreiben; ob es mir gelungen ist, die einfachsten und zweckmäßigsten Apparate zu denselben auszuwählen, wird die Zeit lehren und ich bescheide mich gerne, daß dieser erste Versuch einer Anleitung, physikalische Experimente anzustellen, noch Manches zu wünschen übrig lassen wird. Jeder möge aber mit mir so billig sein, seinen Maßstab nicht als den allein richtigen anzusehen.

Da ich jedoch mit geringer Ausnahme alle hier beschriebenen Versuche und Arbeiten selbst und oft auf sehr verschiedene Art schon ausgeführt habe, so hoffe ich, daß man auf dem hier beschriebenen

Wege wenigstens sicher sein Ziel erreichen wird, sollte er auch nicht gerade der einfachste und beste sein.

Daß die Verlagshandlung auch dieses Buch trotz dem mäßigen Preise in einer ihrer würdigen Weise ausgestattet habe, wird der erste Blick in dasselbe genügend zeigen.

Freiburg im Breisgau, im November 1849.

Der Verfasser.

Berichtigung.

Bei Fig. 18 ist das Verjüngungsmaaß nicht $^1/_{10}$, sondern $^1/_5$.

Erster Abschnitt.

Von der Anschaffung und Behandlung der Apparate im Allgemeinen.

Das Locale. Wir beginnen mit einem Gegenstande, wo man nur 1
selten im Stande ist, noch die erforderlichen Einrichtungen oder Abänderungen selbst anordnen zu können. Ist man aber in dem Falle, noch auf die Herstellung eines Locales Einfluß üben zu können, so suche man wo möglich für den Unterricht in der Naturlehre ein eigenes Lehrzimmer zu erlangen, in welchem sodann die Schulbänke staffelförmig erhöht werden, und der Experimentirtisch mit der ersten Bank auf gleichem Boden steht, damit auch die vordersten Zuhörer noch etwas von oben auf den Tisch sehen können. Man erreicht dadurch den großen Vortheil, daß die einzelnen Versuche stets gehörig vorbereitet werden können, wodurch man beim Unterrichte ungemein viel Zeit erspart, ganz abgesehen von jener Zeit, welche an der zugemessenen Stunde dadurch verloren geht, daß erst beim Beginn derselben die erforderlichen Apparate herbeigetragen werden müssen.

Kann neben dem Unterrichtszimmer zugleich das für die Aufbewahrung der Apparate dienende Zimmer erlangt werden, so gewährt dieses um so mehr Vortheile, da man nun beide durch eine Thür unmittelbar verbinden kann. Jedenfalls darf das letztere Zimmer nicht zu weit vom Unterrichtszimmer entfernt, am allerwenigsten in einem anderen Stockwerke gelegen sein. Neben ihm muß sich das Laboratorium befinden.

Was die Lage der Zimmer betrifft, so müssen sie wenigstens von einer Seite Sonne haben und mit gut schließenden Läden versehen sein.

Zur Aufbewahrung der meisten Apparate dienen Glasschränke von 2
12 — 14 Zoll Tiefe, an welchen die untere Abtheilung etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 Fuß hoch ist, und hölzerne Thüren erhält; Schiebfenster statt der Glasthüren anzuwenden, ist durchaus unpraktisch. Die Glasschränke müssen dem vorhandenen Raume ganz angepaßt werden, und erhalten eine Höhe

von 8 — 10 Fuß. Es stört dies um so weniger, als man sich einer kleinen Handtreppe mit 3 Stufen bedienen kann, um in die oberen Fächer zu gelangen, und in diese kommen dann jene Apparate, die man doch gewöhnlich nur einmal des Jahres braucht. Größere Apparate, wie etwa die Luftpumpe, welche nicht in die Kästen gebracht werden können, und ihrer Natur nach eingeschmiert sein müssen, werden durch darüberpassende Futterale von Pappe vor Staub geschützt. In diesem Zimmer sollte so wenig als möglich gearbeitet werden.

3 In dem Laboratorium muß sich ein geräumiger fester Tisch mit mehreren Schiebfächern und in einer Fensternische desselben eine solide Werkbank von 3 zölligem Eichenholze befinden, an welche der Schraubstock befestigt wird, während eine zweite Fensternische die Drehbank erhält. Die Esse muß man so anlegen, daß das Tageslicht voll darauf fällt und sich der Arbeiter nicht selbst im Lichte stehen muß. Die Röhre, welche von dem in der Höhe über dem Rauchfang angebrachten Blasebalge den Wind herbeiführt, soll nicht zu enge sein — Zoll weit — und es ist zweckmäßig, wenn dieselbe mit einem Hahn versehen ist, um den Wind beliebig zu mäßigen. Die Esse selbst wird nur wenig tief gemacht, 2 Zoll sind ausreichend; ein paar stets bereit stehende Backsteine können schnell darum gestellt werden, wenn man eine tiefere Esse brauchen sollte. Das Kamin soll durch eine Klappe geschlossen werden können, damit es im Winter nicht zu kalt wird; ein Rohr von dem vorhandenen Ofen kann neben der Klappe in das Kamin geleitet werden.

Ein besonderer, im Laboratorium befindlicher Glaskasten enthält die nöthigen Chemikalien; die Werkzeuge aber werden in Rahmen an den mit Holz verkleideten Wänden, namentlich in den Fensternischen aufgesteckt, oder auch die kleineren derselben in verschiedenen hölzernen oder blechernen Büchsen verwahrt.

Man wird vielleicht diese Anforderungen, namentlich für ein Gymnasium, Lyceum, eine höhere Bürgerschule, sehr hoch finden, aber sie sind kaum zu ermäßigen, wenn der Unterricht mit Erfolg gegeben werden und der Lehrer selber sein Fach nicht etwa nur aus Büchern betreiben und lehren soll. Daß dabei ein eigentlich chemischer Unterricht noch nicht berücksichtigt ist, leuchtet von selbst ein, so wie daß das Zusammendrängen einer chemischen und mechanischen Werkstätte in einem Locale noch manche Uebelstände für die stählernen und eisernen Werkzeuge nach sich führen muß.

4 Will oder kann der Lehrer seine Zeit darauf verwenden, alle diejenigen Apparate, bei welchen es nach der in diesem Buche gegebenen Anleitung möglich ist, selbst anzufertigen, oder doch unter seiner Anleitung von geschickten Arbeitern anfertigen zu lassen, so muß er vor allem auf die

Anschaffung der nöthigsten Werkzeuge denken, deren Zahl übrigens nicht groß ist, da man sich die meisten derselben je nach dem Bedarf selbst anfertigen kann, und man doch immer alle größeren Arbeiten von einem geschickten Handwerker ausführen läßt, während man sich selbst nur die Zusammensetzung und Einpassung u. dgl. vorbehält. Die hierfür nöthige Arbeitsfähigkeit erwirbt man bald und um so schneller, wenn man bei dem Nachsehen und Bestellen in den Werkstätten ein aufmerksamer Beobachter ist; denn die in diesem Buche vorkommenden Anleitungen für einzelne Arbeiten betreffen, das Löthen ausgenommen, meist solche Arbeiten, für die man in kleineren und mittleren Städten gewöhnlich Niemanden finden kann, und die man also selbst versuchen muß, ohne sie je vorher gesehen zu haben.

An Werkzeugen würde ich nun Folgendes zur ersten Anschaffung vorschlagen:

1) Ein Schraubstock von etwa 20 Pfund.
2) Eine Anzahl Feilen und ein Feilkloben.
3) Ein Blasebalg nebst Löschspieß, Schmiedezange, Heerdschaufel und Kohlenzange.
4) Ein Sperrhorn von 25 — 30 Pfd.
5) Ein paar Hämmer von 2 bis ¼ Pfd.
6) Eine Beißzange.
7) Zwei flache und zwei runde Drahtzangen.
8) Eine Blechscheere.
9) Eine kleine Drehbank.
10) Ein Flachmeißel und ein Hohlmeißel für Holzdreherei.
11) Eine Anzahl Löffel- und Centrumbohrer an die Drehbank.
12) Ein Windelbohrer mit den nöthigen Centrum-, Löffel- und Spitzbohrern.
13) Eine Schraubenkluppe, womit man ganz feine und bis etwa 2—3 Linien dicke Schrauben bearbeiten kann.
14) Eine Metallsäge.
15) Ein Greifzirkel.
16) Ein Randerirrad.
17) Ein sogenannter englischer Schraubenschlüssel.
18) Ein Schropp- und ein Schlichthobel — als Hobelbank dient dabei der Schraubstock.
19) Ein paar Stemmeisen und Raspeln.
20) Eine Schweifsäge für Holz.
21) Ein paar Schraubzwingen von verschiedener Größe.
22) Eine Leimpfanne.
23) Ein Handbeil.

24) Ein Schleifstein (Läufer) nebst Abzugstein.
25) Eine Kohlenpfanne nebst Handblasebalg.
26) Eine gewöhnliche Weingeistlampe mit etwas dickem Docht.
27) Ein Löthrohr.
28) Ein Löthkolben.
29) Ein Glasblasetisch.
30) Eine gewöhnliche etwas starke Scheere.
31) Ein kleiner Mörser.
32) Eine porcellanene Reibschale.
33) Ein eiserner Winkel mit Anschlag.

Diese Dinge zusammen dürften etwa 100 — 120 Fl. kosten, wobei ich die Drehbank zu 44 Fl. veranschlage. Je nach ihrer Vollkommenheit ist der Preis jedoch hierfür sehr verschieden und man wird beim Neukauf nicht wohl wohlfeiler durchkommen. Man kann hieran um so weniger sparen, als die Drehbank das wesentlichste Stück der Einrichtung ist, und zugleich jedenfalls so viel kostet, daß man nicht leicht wieder zu einer anderen kommt. Kann man daher die Beschaffenheit, welche eine Drehbank für so kleine mechanische Arbeiten haben muß, nicht selbst aus Erfahrung bestimmen, so muß man bei dieser Anschaffung sachverständige Leute zu Rathe ziehen unter Berücksichtigung des vorhandenen Locals. Wo die Mittel es erlauben, würde ich unbedingt gußeiserne Backen und Reitstöcke vorschlagen. Die Axe muß zum Anstecken von Schraubenpatronen hergerichtet sein, und auf der Arbeitsseite ein äußeres und inneres Gewinde haben. Man bedarf zweier Schnurrollen, deren eine von etwa 8 Zoll Durchmesser zum Eisendrehen, und eine von 3 — 4 Zoll für Holz und Messing bestimmt ist. Das Schwungrad soll nicht unter 50 Pfund wägen bei etwa $2^1/_2$ Fuß Durchmesser.

Mit den angeführten Werkzeugen ist man nun im Stande, sich nach und nach, wie man dessen bedarf, eine ordentliche Werkstätte einzurichten, indem man sich z. B. die übrigen Drechslerwerkzeuge, Reibahlen, Metallbohrer, Schrauben, Bohrer u. dgl. aus Stahl sebst anfertigt. Allerdings fällt es anfänglich schwer, denn wo man auch nur eine Kleinigkeit machen will, muß man zuerst das nöthige Werkzeug dazu machen. Allein dieses ist doch bald überwunden, und man muß sich auch mit Wenigem zu helfen wissen; man muß eben, nach F r a n k l i n, »mit dem Bohrer sägen und mit der Säge bohren lernen«.

5 Will oder kann man sich nicht auf eine vollständigere Werkstatteinrichtung einlassen, so genügen nach obigem Satze auch folgende Stücke:

1) Ein kleiner Schraubstock mit Amboß.
2) Ein Feilkloben.
3) Ein Glattstöckchen mit Horn.

4) Eine Beißzange.

5) u. 6) Eine flache und eine runde Drahtzange.

7) u. 8) Zwei Hämmer.

9) Ein paar Feilen und Raspeln.

10) Ein paar Bohrer.

Sie werden zusammen etwa 8 — 10 Fl. kosten und dürften so ziemlich das Minimum sein, was hierauf verwendet werden muß.

Die Anschaffung der Apparate selbst hängt einerseits von den vor- 6
handenen Geldmitteln ab, andererseits von dem Umfange und der besonderen Richtung in welcher etwa der Unterricht der Naturlehre zu ertheilen ist. Es wird daher diese Frage um so weniger eine allgemeine Beantwortung zulassen, als dieselbe auch davon bedingt ist, welche Apparate der Lehrer selbst anfertigen, oder nach den örtlichen Verhältnissen nach und nach anfertigen lassen kann. Ist der Lehrer als solcher selbst noch Anfänger, so übereile er die Bestellungen nicht und verwende die bewilligten Gelder lieber nach und nach im Laufe von 1 — 2 Jahren, wie ihn das Bedürfniß des Unterrichts belehrt; wenn es auch nur deswegen wäre, um in der Zwischenzeit durch angeknüpfte Bekanntschaften die Bezugsquellen besser kennen zu lernen.

Unter der Voraussetzung nun, daß man die Mehrzahl der Apparate selbst anfertigen lassen könne, dürften etwa folgende Gegenstände sogleich vom Mechanicus zu bestellen sein, wenn sich der Unterricht nur auf das Allernothwendigste beschränkt.

1) Gemeine Wage von 5 — 10 Pfund Tragkraft . .	8 Fl.
2) Verschiedene Aräometer	6 »
3) Heberbarometer mit Stöpselverschluß	11 »
4) Luftpumpe nebst Zugehör	200 »
5) Modell einer Saug- und Druckpumpe, Stiefel von Glas	15 »
6) Concav-, Convex-, Planspiegel, alle von Glas .	5 »
7) Prisma, von Flintglas wo möglich	7 »
8) Großes Convexglas nebst einigen kleineren und einem Concavglase.	5 »
9) Terrestrisches achromatisches Fernrohr mit 12 — 20 maliger Vergrößerung	11 »
10) Zusammengesetztes achromatisches Mikroskop. . . .	22 »
11) Thermometer, die Skale in Glas	3 »
12) Wasserhammer	1 »
13) Hufeisenmagnet, 18 — 20 Pfund tragend	10 »
14) Magnetnadel mit Achathütchen	3 »
Latus	307 Fl.

	Transport	307 Fl.
15) Elektrisirmaschine	. . . .	44 »
16) Sechs Kohlenzinkelemente	. . . .	10 »
		361 Fl.

Hierzu für Werkzeuge und Arbeitslohn für das, was man bei verschiedenen Handwerkern machen läßt, so wie für Material 340 Fl.

701 Fl.

Also könnte man bei einem einmaligen Aufwande von 7 — 800 Fl. und einem jährlichen Aversum von wenigstens anfänglich 100 Fl. in wenigen Jahren zu einem physikalischen Apparate kommen, womit sich ein sehr gründlicher Schulunterricht in der Naturlehre geben ließe.

Ein vollständigeres Verzeichniß für einen physikalischen Apparat, jedoch ohne Rücksicht auf Selbstanfertigen, findet sich am Schlusse dieses Buches.

7 Jeder dieser Apparate muß einmal, so weit es angeht, zerlegt werden, damit man seine Construction genau kenne und sich auf das Arbeiten mit demselben einstudiren könne

Manche Exemplare haben nämlich eigenthümliche Fehler, oder doch Unsicherheiten, denen man nur durch bestimmte Maßregeln vorbeugen kann. Ist letzteres bei einem Apparate der Fall, so wird es gut sein, das Verfahren genau aufzuschreiben, durch welches man sicher die gewünschten Versuche zu Stande bringen kann, und dieses Papier dem Apparate selbst beizulegen.

Ebenso richtet man alle Nebendinge, Drähte, Haken u. dgl., die man bei einem Versuche braucht, für diesen besonders zu und legt sie dem Hauptapparate bei. Führt man ein geordnetes Inventar, so sollten solche Stücke ihre besondere Nummern erhalten und ihr Zweck kurz im Inventar bemerkt sein Es dient dieses für den, der den Apparat gegenwärtig gebraucht und noch mehr für einen Nachfolger.

8 So oft Apparate gebraucht wurden, sollen sie gereinigt und an ihre bestimmte Stelle zurückgebracht werden. Die Aufbewahrung muß, so viel es die Verhältnisse gestatten, in systematischer Ordnung geschehen.

Glaswaaren werden am besten mit Weingeist und Fließpapier gereinigt und mit reiner Leinwand abgetrocknet. Messingene Theile, welche Strich haben, müssen immer nur in der Richtung von diesem gerieben werden, man nimmt hierzu Leinwand und feinen Trippel, oder geschlämmte Kreide, mit verdünntem Weingeist. In der Regel sind jedoch Messing-Gegenstände gefirnißt, und in diesem Falle kann nur ein Abreiben mit reinem Fließpapier und mit feiner Leinwand stattfinden, und auch dieses muß in der Richtung geschehen, in welcher der Strich des Gegenstandes läuft. Gegenstände, welche vielfältig gebraucht werden, soll man aber nie

firnissen, denn der Firniß reibt sich dann stellenweise bald ab, wodurch die Gegenstände unansehnlich werden. Bei solchen Gegenständen putze man nur den Firniß mit Weingeist ganz weg, sobald sich die Flecken zeigen.

Eiserne Gegenstände haben selten Firniß, man reinigt sie durch Abreiben mit Fließpapier und ein wenig Oel, so daß stets eine feine Schichte Baumöl darauf bleibt. Wird ein stärkeres Putzen nöthig, so nimmt man nebst Oel fein geschlämmten Smirgel auf das Fließpapier, oder man nimmt Smirgelpapier, welches man in jeder Feinheit bekommen kann.

Wäre letzteres nicht der Fall, so kann man sich Smirgelpapier wohl auch selbst machen, doch erreicht man hierbei nicht leicht ein so festes Anhalten des Smirgels, wie bei dem durch eigene Maschinen gefertigten. Smirgelpapier erhält man dadurch, daß man gutes Schreibpapier gleichförmig mit starkem Leim bestreicht, dann mittelst Flor Smirgel gleichförmig darauf beutelt, den Bogen zuschlägt, daß die bestreuten Seiten gegen einander kommen, und dann mehrere Bogen zugleich zwischen zwei Bretter unter mäßigem Drucke trocknen läßt; den übrigen nicht angeleimten Smirgel schüttet man nachher aus.

Außerdem, daß man die Apparate rein hält, gehört auch zu deren 9
Erhaltung, daß man nicht daran herumdrehe oder damit spiele, wenn man sie nicht gerade zu einem Versuche braucht, weil man dann die Aufmerksamkeit gern wo anders hingleiten läßt, und darüber an dem Apparate etwas zerbricht.

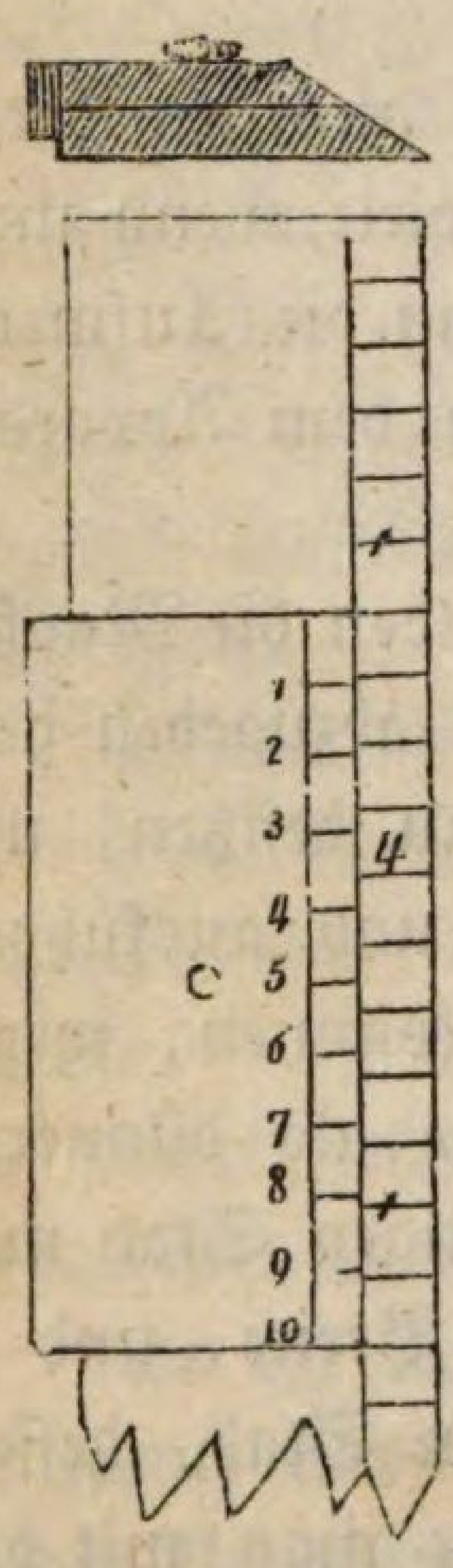
Einen wichtigen Theil des physikalischen Apparates bilden die Maaße, 10
und es ist für jeden, der sich mit physikalischen Versuchen abzugeben hat, nothwendig, die verschiedenen gebräuchlichen Maaßstäbe zu besitzen, um ohne lange Reductionen die einzelnen Angaben verstehen und ausführen zu können. Man wird hierbei am einfachsten zu Stande kommen, wenn man sich aus einem recht alten, wo möglich schon lange als dünnerer Stab herumliegenden Holze von Apfelbaum einen vierkantigen Stab machen läßt von quadratischem Querschnitte zu etwa ½ Zoll Breite, und so lang, daß ein ganzes Meter darauf Platz hat. Auf diesen Stab, dessen Enden genau rechwinklicht abgeschnitten sein müssen, wofür man mit der Feile wohl selbst sorgen kann, trägt man an einer Eichstätte sein heimathliches Maaß nach dem dort aufbewahrten Muttermaaße bei bestimmter Temperatur — was übrigens für Holz wenig Einfluß hat — selbst so oft auf, als es durch den Muttermaaßstab auf einmal geschehen kann, und theilt sofort den ganzen Maaßstab in Zolle ein. So hat man nun wenigstens eine Länge, von der man weiß, auf wie weit sie genau ist; bei gekauften, und selbst bei amtlich gestempelten Maaßstäben ist dieses durchaus nicht der Fall, man müßte dieselben denn aus sehr vertrauter und sicherer Hand erhalten. Für die Linien kann man sich dann immer ent-

sprechende Transversalmaaßstäbe auf Papier zeichnen, und für den gewöhnlichen Gebrauch einen hölzernen Maaßstab oder ein Bandmaaß im Laden aussuchen, dessen Richtigkeit man nun selbst zuerst controlirt.

Auf die übrigen drei Seiten des erwähnten Grundmaaßes werden nachher drei andere gebräuchliche Maaßstäbe aufgetragen, indem man ihre Länge durch Rechnung bestimmt und dann eintheilt. Die Theilungen müssen gegen einander so viel als möglich durch Berechnung kleinerer Theile controlirt werden, damit die verschiedenen Maaßstäbe unter sich harmoniren. Ein Meter durchweg in Centimeter getheilt, darf darunter nicht fehlen.

Für jede genauere Messung ist aber die Kenntniß des Nonius unerläßlich; seine Erklärung kann daher beim Unterrichte auch nicht übergangen werden. Da aber ein Nonius an sich schon klein und zur ersten Erklärung darum unpassend ist, so lasse man sich einen hölzernen durchweg in Zolle getheilten Maaßstab von 4 — 6 Fuß machen (Fig. 1), auf welchem ein zweiter entsprechend als Nonius getheilter Stab, der mit einem Knopfe und einer Anschlagleiste versehen ist, verschoben werden kann. Sind die Stäbe von Ahorn und die Striche gut eingeschwärzt, so kann man die Behandlung des Nonius für ein ganzes Auditorium zugleich erläutern, indem man den Zoll durch den Nonius in kleinere Theile theilt.

Fig. 1.



11 **Hohlmaaße.** Genauere Hohlmaaße, als sie der tägliche Gebrauch liefert, wird man nicht leicht nöthig haben, und wo sie erforderlich sein sollten, besser sich der entsprechenden Gewichte bedienen. Für den Fall aber, daß man durchaus ein genaues Maaß haben wollte, müßte es aus Metall von cylindrischer Gestalt sein, und die Höhe müßte zur Weite das übliche gesetzliche Verhältniß erhalten. Das genaue Eichen solcher Maaße hat übrigens mancherlei Schwierigkeiten, wenn dieselben durch das verlangte Maaß zum Abstreichen gefüllt werden sollen. Ist dieses letztere nicht der Fall, und für den physikalischen Gebrauch ist es nie nöthig, so eicht man sich ein beliebiges Glasgefäß auf der Wage durch das berechnete Gewicht Wasser. Eine Glasröhre von etwa ½ — 1 Zoll Weite, welche auf diese Art von Gramm zu Gramm — Cubikcentimeter — mit Wasser geeicht wurde, ist bei manchen Versuchen bequem. Die Theilstriche werden mit dem Diamant gemacht, und richten sich nach der horizontalen Fläche des Wassers, nicht nach dem gehobenen Rande desselben.

Zweiter Abschnitt.

Versuche über das Gleichgewicht der Kräfte.

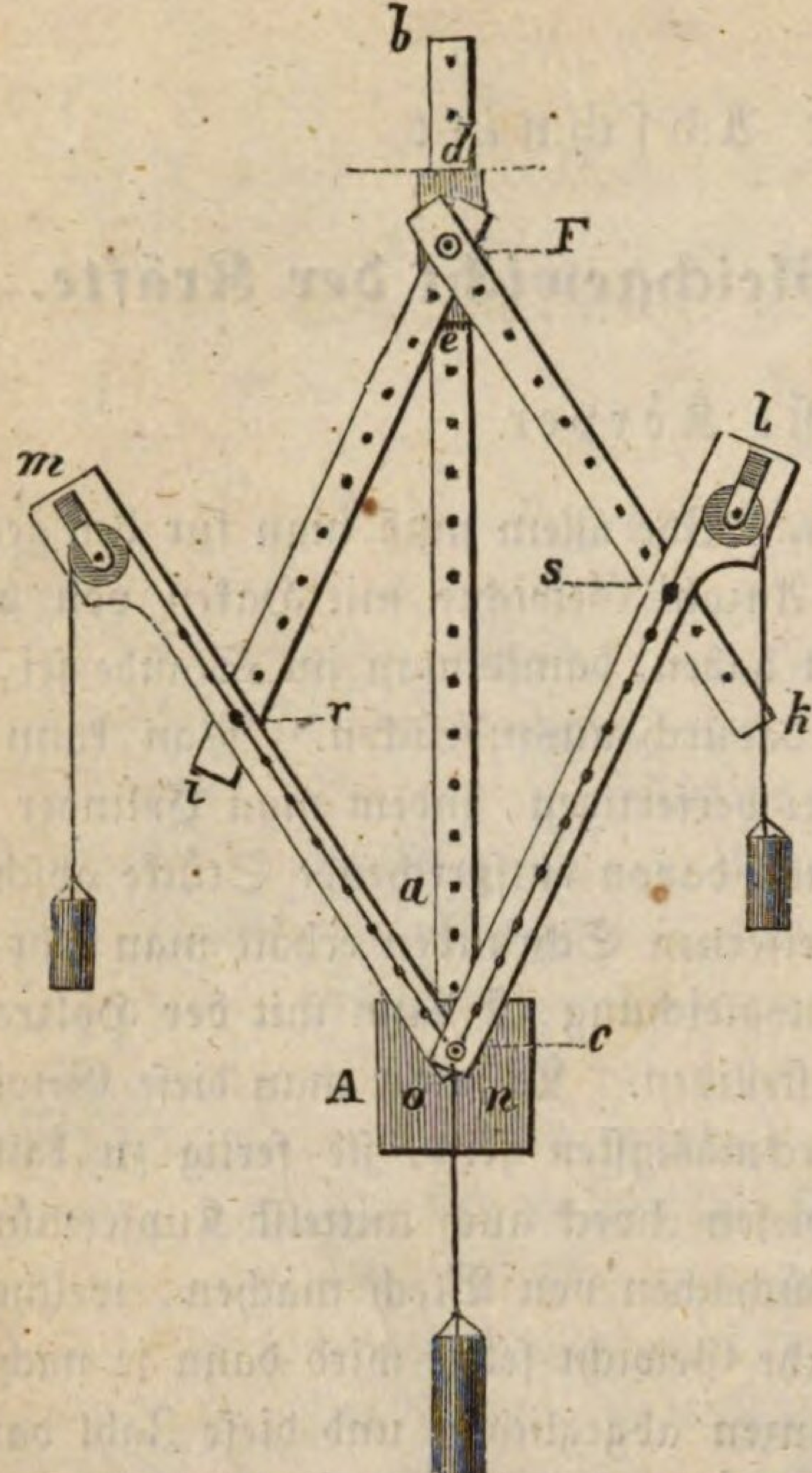
A. Feste Körper.

Allgemeine Bemerkungen. Vor allem muß man für den gegenwärtigen Theil der Versuche eine Anzahl Gewichte mit Haken von beliebiger, doch nicht zu kleiner Einheit haben, damit man im Stande sei, jedes Gewicht von 1 bis 100 etwa dadurch auszudrücken. Man kann sich solche Gewichte sehr leicht aus Blei verfertigen, indem man Cylinder von Blei in papierenen Röhren gießt und davon entsprechende Stücke abschneidet; kleine messingene Ringe mit eisernen Schrauben erhält man sehr billig im Eisenladen und die letzte Ausgleichung ist dann mit der Holzraspel und einem Messer leicht zu bewerkstelligen. Wünscht man diese Gewichte von Messing, so dürfte es am zweckmäßigsten sein, sie fertig zu kaufen. Auf sehr einfache Art kann man diesen Zweck auch mittelst Kupfermünzen erlangen. Man läßt sich kleine Büchschen von Blech machen, welche an drei Schnürchen aufgehängt sind, ihr Gewicht selbst wird dann je nach ihrer Größe auf 1 — 6 solcher Münzen abgeglichen und diese Zahl darauf gestempelt. Um wenige Groschen erhält man die erforderliche Zahl solcher Büchschen sauber aus dünnem Messingblech gearbeitet, und die Abgleichung ihrer Gewichte kann man selbst machen. Die Kupfermünzen aber behalten ja ihren wirklichen Werth, sind für diese Zwecke hinreichend gleich schwer und sehr schnell in der erforderlichen Menge eingezählt. 12

Außer den Gewichten bedarf man einiger Wagschalen, deren Gewicht genau ausgemittelt und auf denselben verzeichnet ist. Zweckmäßig verfährt man, wenn ihr Gewicht auf ganze Lothe oder Gramme regulirt wird.

Das Parallelogramm der Kräfte. Unter den verschiedenen Vorrichtungen für die statische Demonstration dieses Gesetzes dürfte vor allem die in Fig. 2 (a. f. S.) abgebildete empfohlen werden, weil sie so leicht ausführbar ist, und die Kräfte dabei immer zugleich durch die Länge der Linien gemessen werden. Auf dem vorderen Rande des Klotzes *A* ist der vierkantige Stab *ab* befestigt, der in gleichen Distanzen etwa zu 1 Centimeter mit Löchern versehen ist, so aber, daß der Drehungspunkt *c* den Anfangspunkt derselben bildet; auf ihm schiebt sich die Hülse *de*, deren Länge eine ganze Zahl der Theilung beträgt; sie wird durch einen eingeschobenen Nagel gehalten und die Zahlen sind zu den Löchern so angeschrieben, daß die dem oberen Rande *d* der Hülse entsprechende Zahl die Entfernung *c F* angibt. 13

Fig. 2.



Die Dicke der Hülse wird so genommen, daß ihre vordere Fläche mit der vorderen Fläche des Klotzes *A* parallel wird. Die dünnen Schienen *Fi*, *Fk*, *mn*, *lo* sind in gleichen Entfernungen wie *ab* mit Löchern versehen, die von ihren Drehungspunkten aus numerirt sind und können bei *r*, *s* durch Nägel mit flachen Köpfen auf einander gesteckt werden; daß diese Nägel rückwärts Schrauben haben, ist nicht nöthig, aber bequem. Außerdem tragen die Schienen *nm*, *lo* außerhalb sehr leicht bewegliche Rollen, deren Schnurläufe einerseits mit der Löcherreihe zusammenfallen. In diesen und ähnlichen Fällen giebt man den Rollen, die aus Bux sehr gut werden, gegen die Mitte hin eine kleine Erhabenheit (Fig. 3 zeigt eine solche Rolle im Durchschnitte und in natürlicher Größe), und durchbohrt sie nun in der Stärke einer mittleren Stricknadel; aus einer solchen macht man auch die Axe, welche einerseits in das Holz eingeschlagen, andererseits durch einen Bügel aus Messingblech gehalten wird. Letzterer muß so nahe an den Rand der Rolle reichen, ohne ihn zu streifen, daß die Schnur die Rolle nicht verlassen kann.

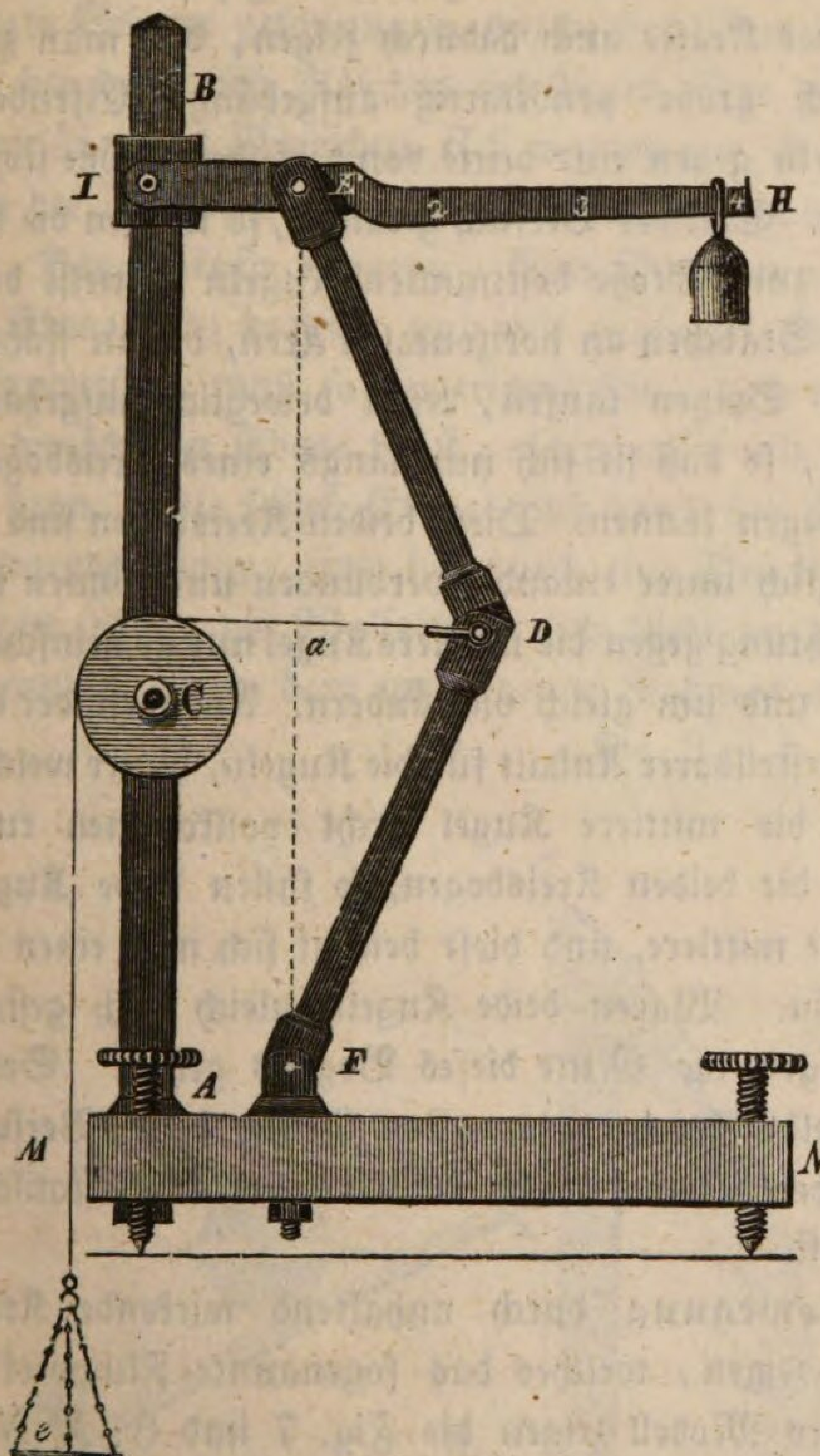
Fig. 3.



Beim Gebrauche knüpft man drei feine seidene Schnüre an einen sehr kleinen Messingring, wovon zwei über die Rollen gezogen werden, und bildet aus den fünf Stäben ein beliebiges Parallelogramm mit seiner Diagonale; hängt man sodann an die drei Schnurenden Gewichte, welche den Längen, *cr*, *cs*, *cF* entsprechen, so wird Gleichgewicht stattfinden und der Knotenpunkt nach *c* kommen, und auch wieder dahin zurückkehren, wenn man ihn entfernt. Die blechernen Büchschen mit Münzen sind für diesen Versuch besonders bequem. Den Klotz *A* kann man auf einem entsprechenden Fuß befestigen, oder auf den Rand eines Tisches stellen. In letzterem Falle muß er aber beschwert werden.

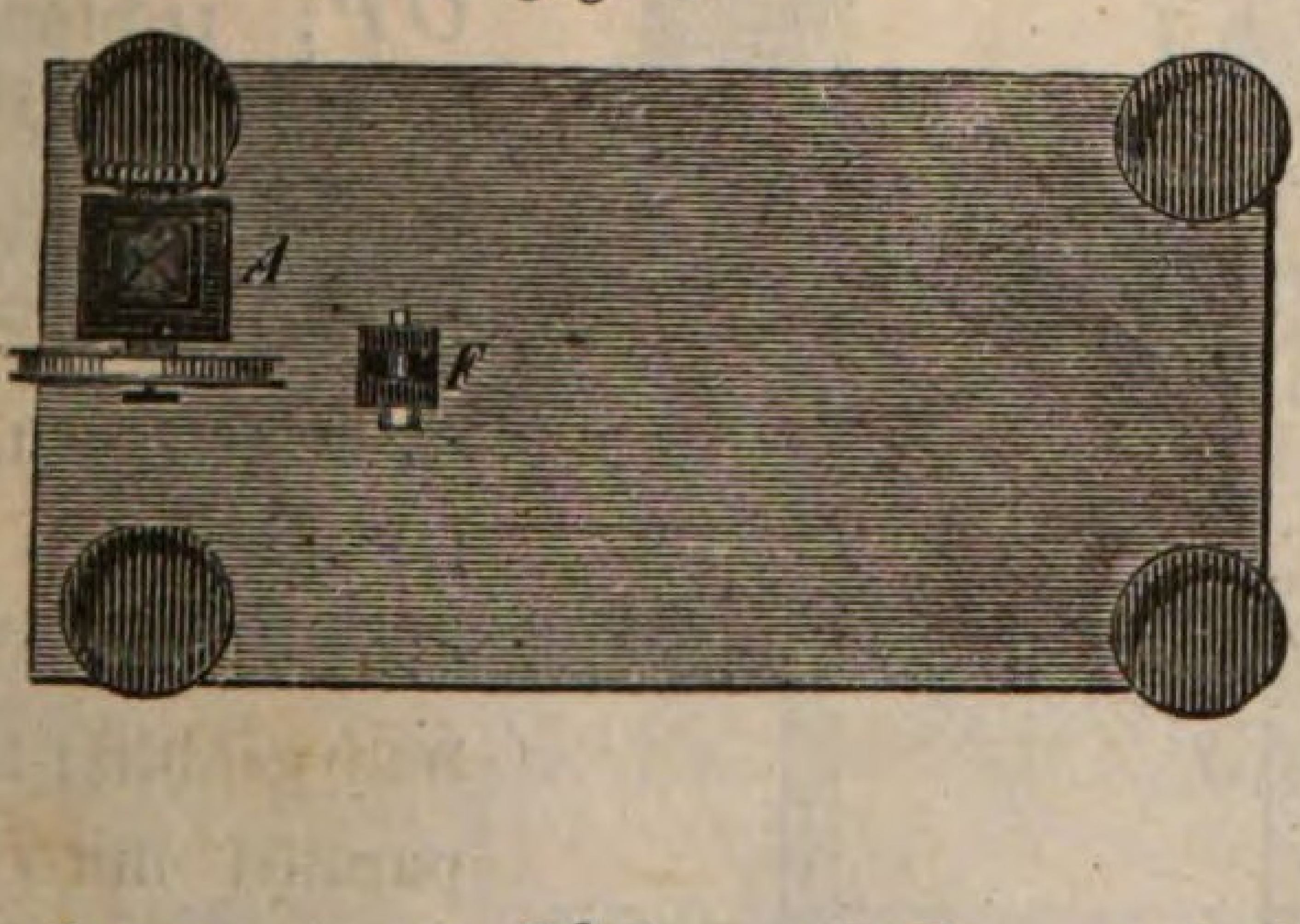
Das Knie. Die Anwendung des Parallelogramms der Kräfte bei 14
der sogenannten Kniepresse kann durch den in Fig. 4. und 5. abgebildeten Apparat erläutert werden.

Fig. 4.



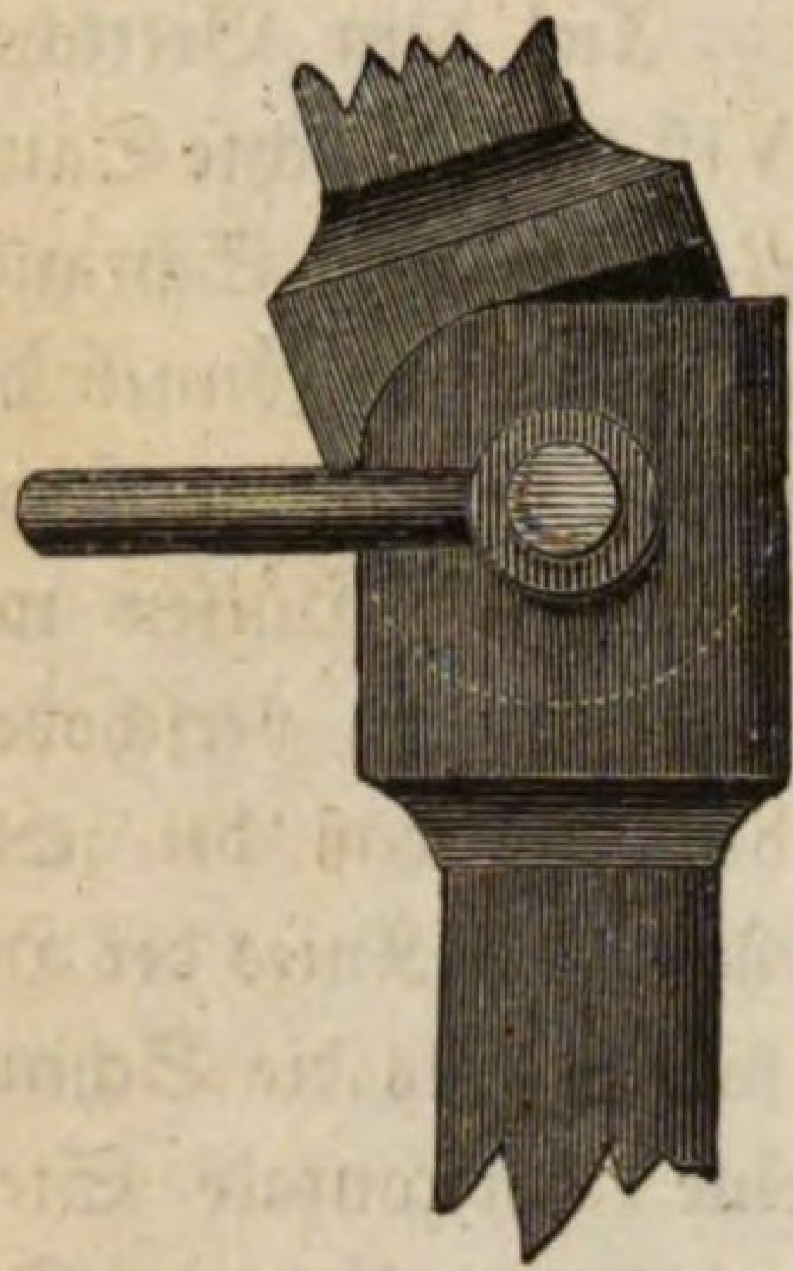
Auf dem Brettchen *MN* ist die senkrechte Säule *A B* durch eine Schraube befestigt; an ihr können die Rolle *C*, so wie der Hebel *I H* mittelst Hülsen mit Stellschrauben verschoben werden, so daß bei jeder Stellung des Knies der Hebel sowohl, als die Schnur *a* eine horizontale Stellung erhalten können. Die Schnur ist mittelst eines Bügels an die bei *D* befindliche Axe angehängt. Sind die Stäbe *ED*, *DF* an ihren Gelenken hinlänglich sicher und leicht beweglich, so kann man aus dem in die Wagschale *e* gelegten Gewichte, so wie aus dem Verhältnisse der Linien *aD* und *DE* die Seitenkraft *DE*, und aus dem Hebelverhältniß das bei *H* erforderliche Gewicht berechnen, da *DE* beim Versuche beinahe senkrecht auf *IH* wirken soll. Eines der Gelenke muß so gearbeitet sein, daß die Stäbe *DE*, *DF* die senkrechte Stellung nicht überschreiten können. Am besten macht man alle Stäbe aus Eisen; die Gelenkenden werden dann etwas stärker gelassen, und das mittlere erhält die Form in Fig. 6. (a. f. S.) um das Ueberschreiten der senkrechten Stellung zu verhüten. Löcher und Zapfen, so wie die Gelenkflächen müssen auf einan-

Fig. 5.



der geschmirgelt werden, damit der Apparat die gehörige Empfindlichkeit erlange.

Fig. 6.



Man kann die zusammengesetzte Wirkung zweier Kräfte auch dadurch zeigen, daß man zwei gleich große pendelartig aufgehängte Elfenbeinkugeln gegen eine dritte von derselben Größe stoßen läßt. Soll der Versuch gelingen, so müssen die beiden zum Stoße bestimmten Kugeln mittelst dünner Stäbchen an horizontalen Axen, die an stählernen Spitzen laufen, leicht beweglich aufgehängt sein, so daß sie sich nur längs eines Kreisbogens bewegen können. Diese beiden Kreisbogen sind beweglich unter einander verbunden und können ihre Richtung gegen die mittlere Kugel nur gemeinschaftlich und um gleich viel ändern. An jedem der eingetheilten Kreisbogen ist ein verstellbarer Anhalt für die Kugeln, hinter welchen sie gethan werden. Wenn die mittlere Kugel recht vollkommen ruhig hängt und man rückt plötzlich die beiden Kreisbogen, so fallen beide Kugeln pendelartig herunter, stoßen die mittlere, und diese bewegt sich nach einen andern getheilten Kreisbogen hin. Waren beide Kugeln gleich hoch gestellt, so muß die mittlere auch gegen die Mitte dieses Bogens gehen. Solche Vorrichtungen fehlen aber selbst bei der genauesten Arbeit beim Versuche sehr oft und können daher eher verwirren als erläutern, was bei statischen Maschinen weniger der Fall ist.

15 **Zusammengesetzte Bewegung** durch anhaltend wirkende Kräfte kann man an einem Modelle zeigen, welches das sogenannte Flugwerk in Theatern vorstellt. Ein solches Modell zeigen die Fig. 7 und 8; *M N* ist

Fig. 7.

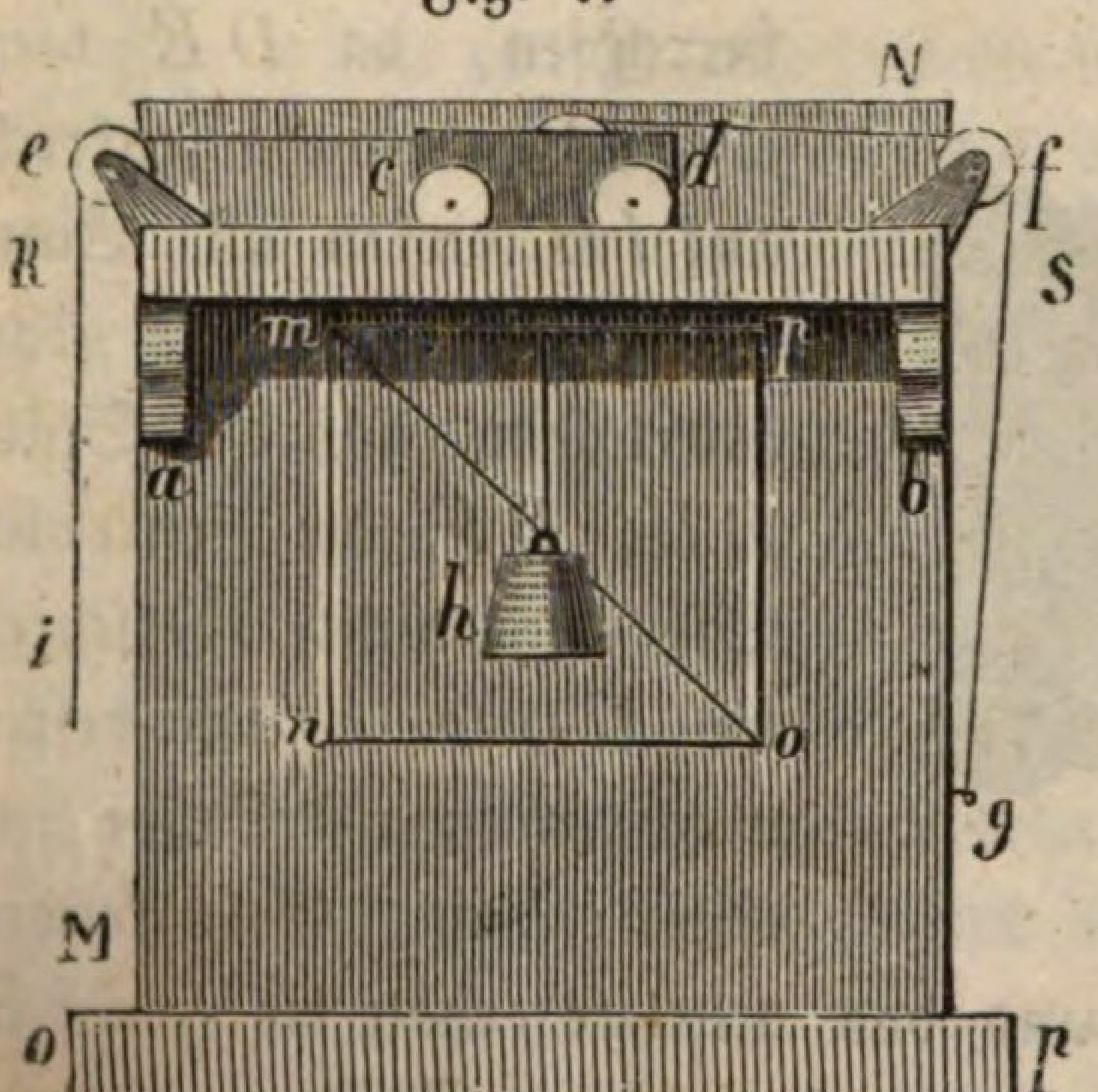
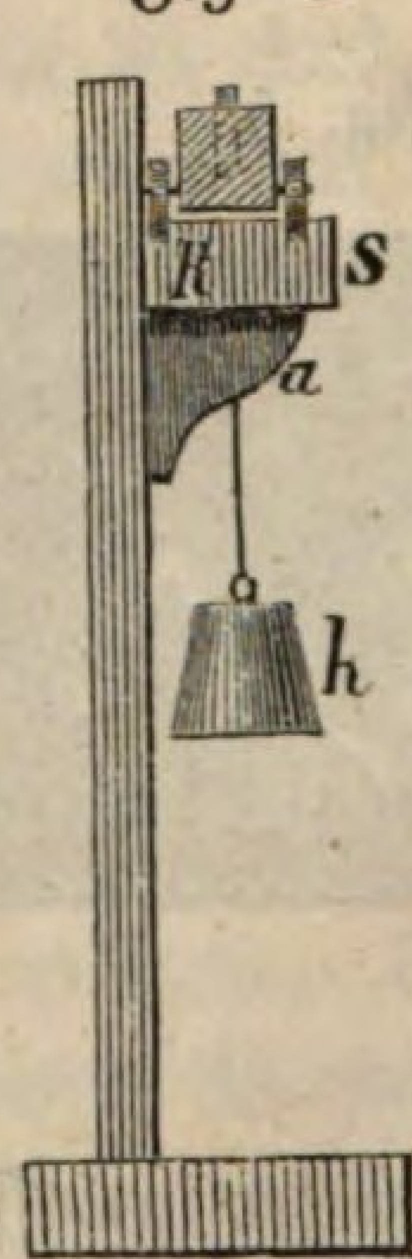


Fig. 8.

1/8



ein vertikales Brettchen mit einem Fuße *O P*; rechtwinklicht zu *M N* ist das Brettchen *R S* befestigt und durch zwei Stützen *a*, *b* getragen. Dieses Brettchen ist in der Mitte der Länge nach geschlitzt und hat parallel mit diesem Schlitze zwei Nuthen. An einem Klötzchen *c d* sind vier Lauf-

rollen angebracht, welche in den Nuthen von $R\ S$ sich bewegen; außer diesen vier Rollen befindet sich mitten im Klötzchen in einem Schlitze eine fünfte, welche oben etwas hervorragt; über diese und die Rolle f ist eine bei g befestigte Schnur geschlungen, welche das Gewicht h trägt. Wird nun mittelst der bei c am Klötzchen befestigten über die Rolle e laufende Schnur i dieses über das Brettchen RS weggezogen, so steigt zugleich das Gewicht h nach der Diagonale mo des Parallelogramms $mnop$.

Die schiefe Ebene. Eine Vorrichtung, um die Gesetze der schie- 16
fen Ebene ganz bequem und mit gehöriger Genauigkeit durch den Versuch nachzuweisen, muß so eingerichtet sein, daß man die Kraft sowohl parallel mit der schiefen Ebene selbst, als parallel mit ihrer Grundfläche wirken lassen kann. Die schiefe Ebene muß dann von Metall sein, so wie die darauf zu legende Walze, und sich durch eine Druckschraube in jeder Stellung befestigen lassen; die Walze dreht sich leicht an den stählernen Spitzen zweier Schrauben, die in dem messingenen Rahmen $a\,b$, Fig. 9 und 10 ihren Sitz

Fig. 9.

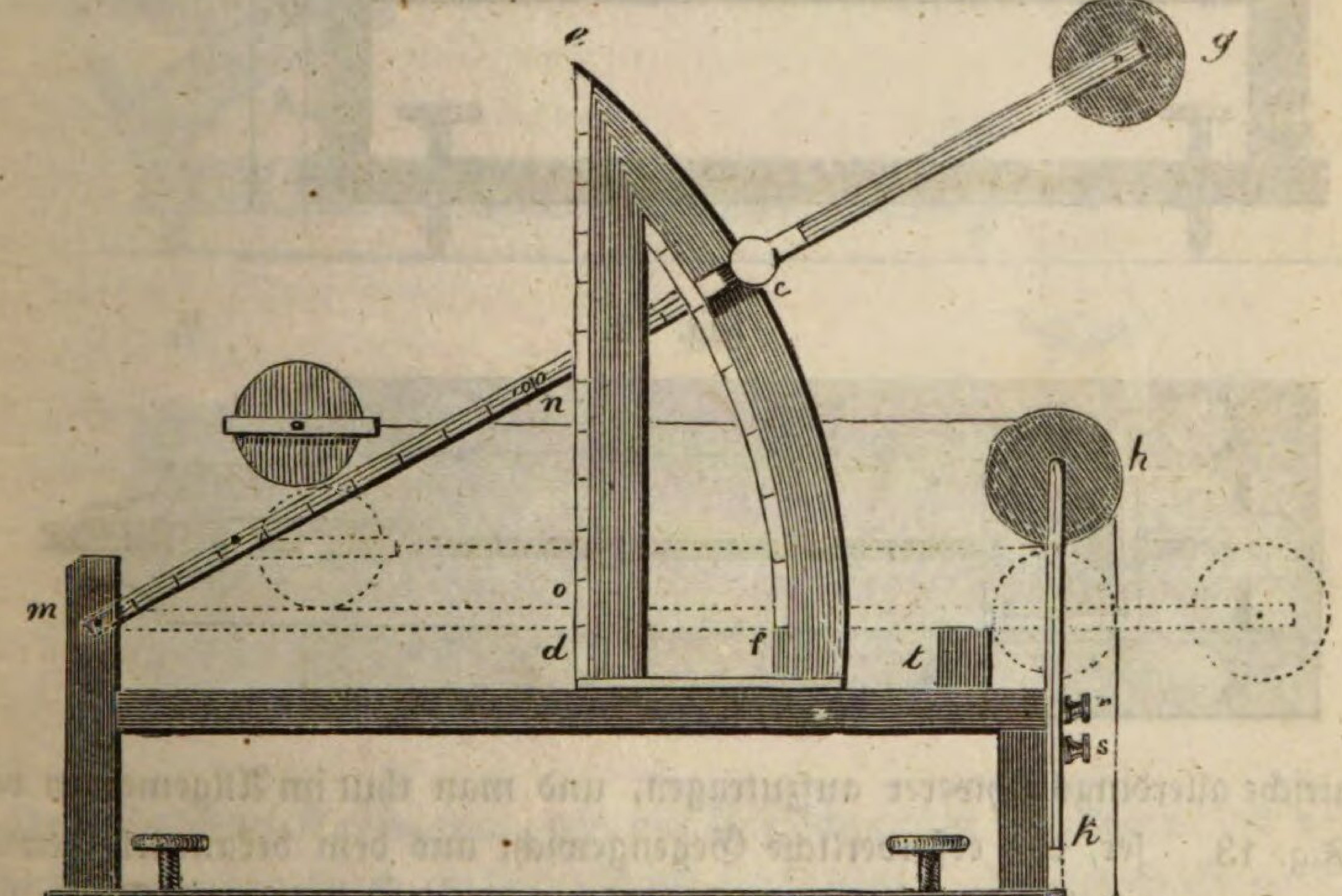
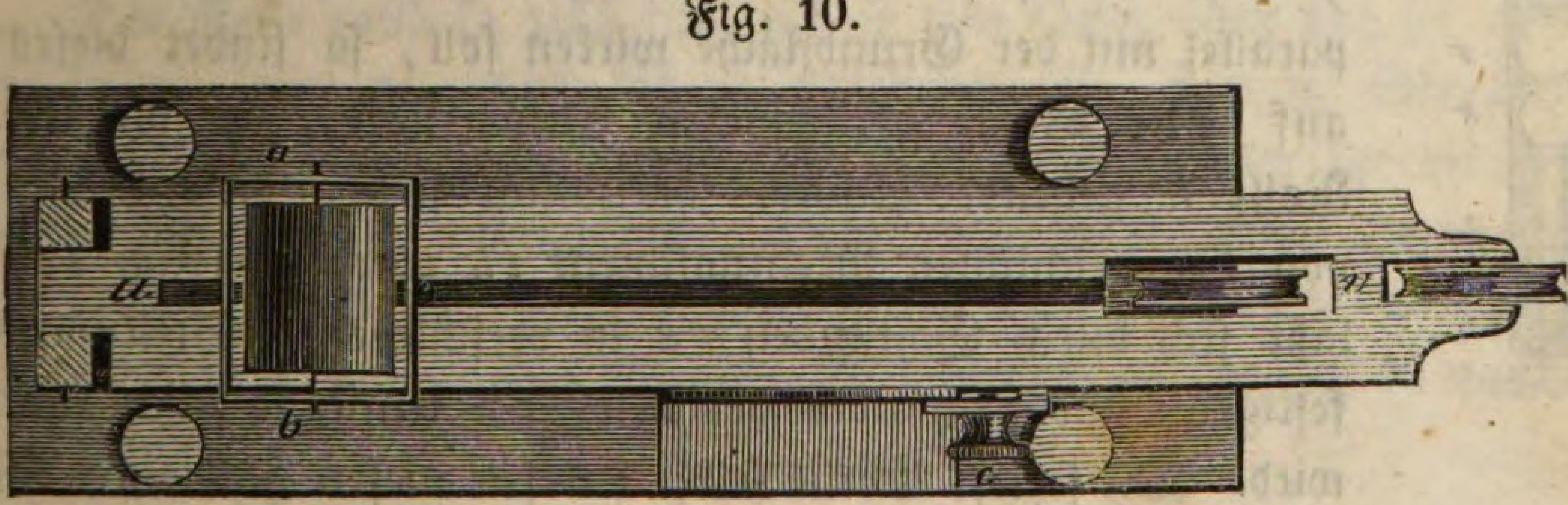


Fig. 10.



haben. Das Stück *d e f* enthält auf der Seite *d e* eine Theilung in Procenten der Grundlinie, und auf *e f* entweder eine Theilung in Graden, oder in Procenten der Länge der schiefen Ebene. Letztere Theilung ist als eine

Fig. 11.

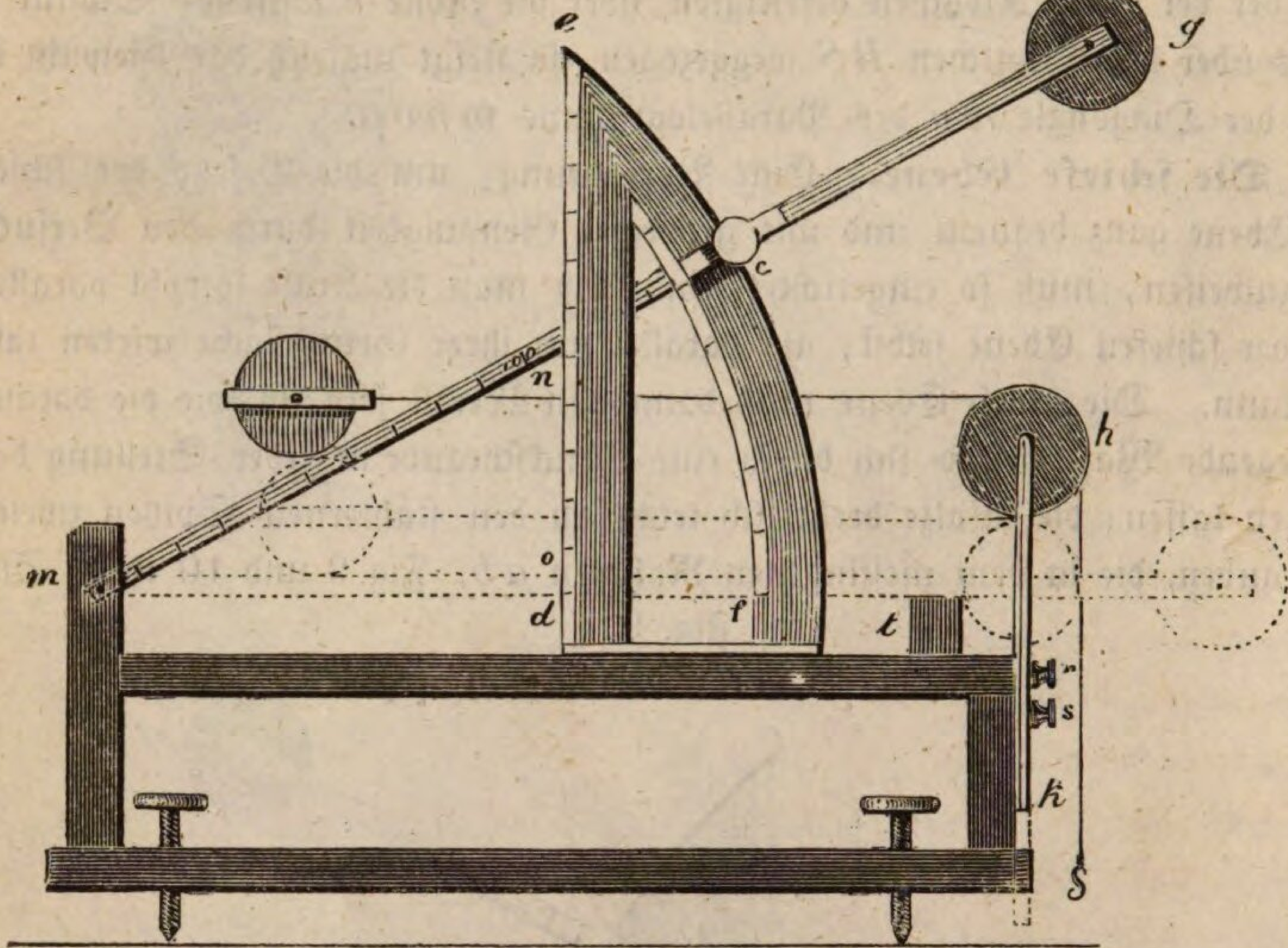
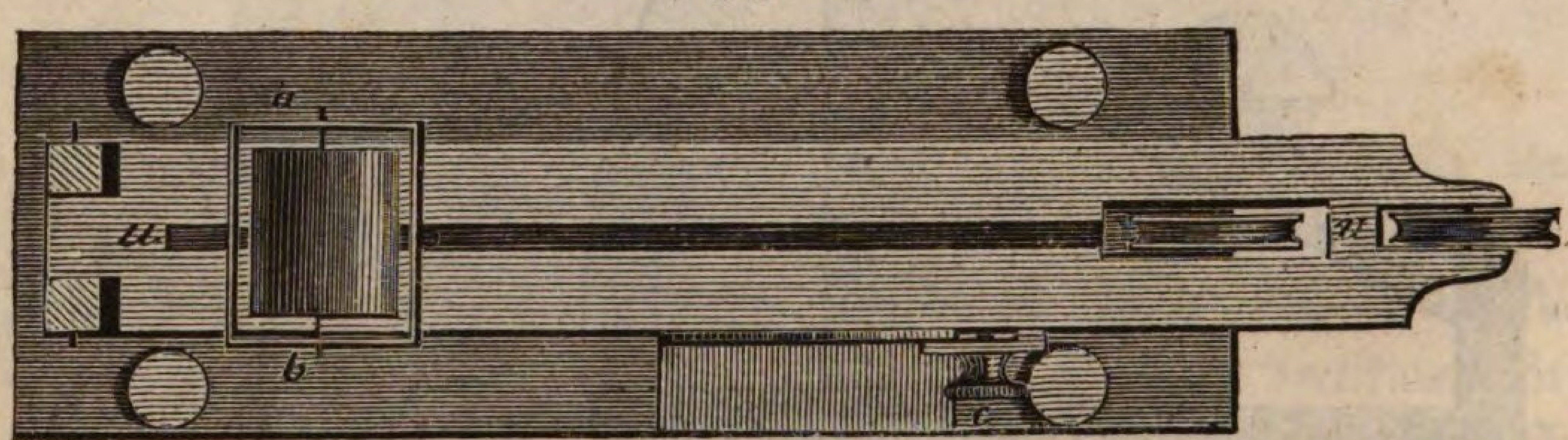
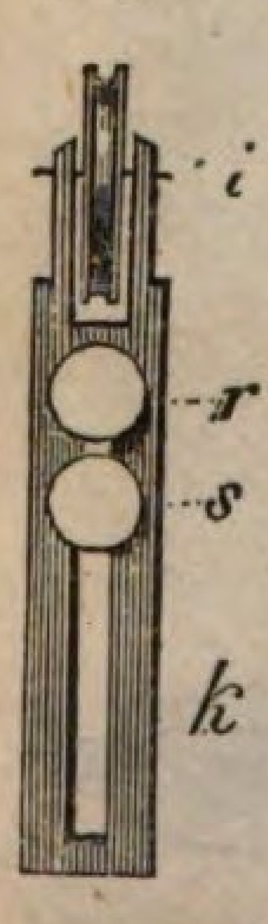


Fig. 12. 1/5



ungleiche allerdings schwerer aufzutragen, und man thut im Allgemeinen besser, das erforderliche Gegengewicht aus dem bekannten Gewicht der Walze und dem Dreieck *mno* zu berechnen. Wirkt das Gegengewicht über die Rolle *g*, so wird es der Walze auf jedem Punkte der schiefen Ebene Gleichgewicht halten; allein wenn es parallel mit der Grundfläche wirken soll, so findet dieses nur auf jener Stelle der schiefen Ebene statt, wo die über die Rolle *h* gehende Schnur horizontal steht; diese Rolle wird von der geschlitzten Messingschiene *ik* getragen (Fig. 13) und läßt sich durch Schrauben *rs* in verschiedenen Stellungen befestigen, wodurch aber der erwähnte Umstand nicht geändert wird. Die schiefe Ebene selbst hat für diesen Fall einen Schlitz,

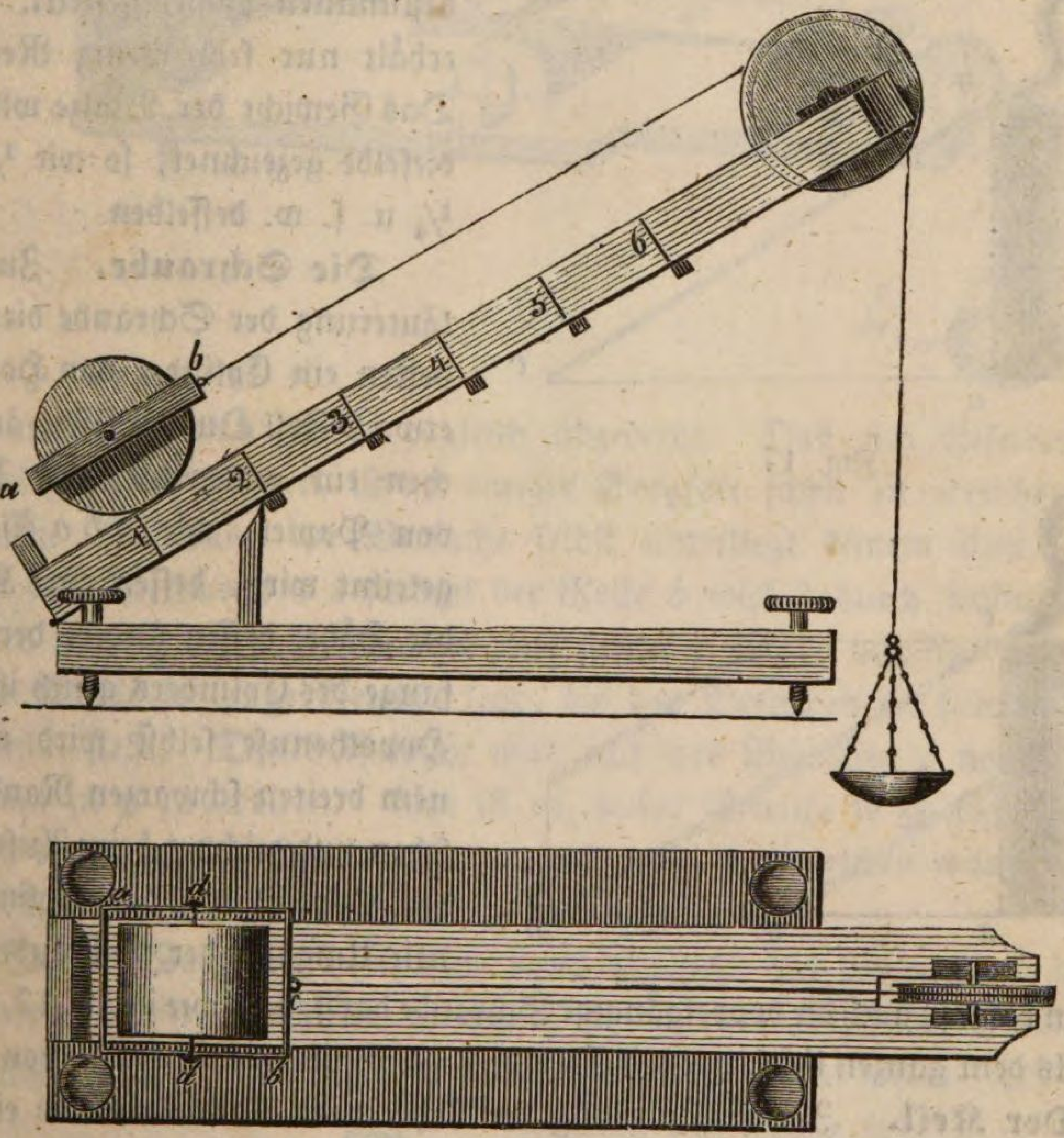
Fig. 13.



um die Schnur horizontal durchzulassen. Die Rollen werden aus Holz gemacht und erhalten nur ganz dünne Axen; *t* dient zur Unterstützung der schiefen Ebene in horizontaler Stellung, und für diese Stellung ist auch der Schlitz *u v* vorn etwas erweitert, damit die Rolle *h* Platz finde.

Einfacher aber, und für den Zweck des Unterrichts ebenfalls ausrei- 17
chend, läßt man den Apparat aus gutem Holze, wie Fig. 14 und 15 in

Fig. 14 und 15.



$\frac{1}{6}$ der wirklichen Größe zeigt, mit vier Stellschrauben anfertigen; die beiden Brettchen werden durch ein Gelenkband verbunden. Die schiefe Ebene selbst erhält vorn einen Einschnitt für die Rolle, deren Axe oberhalb auf dem etwas verjüngten Ende der schiefen Ebene liegt, und durch zwei Bleche gehalten wird. Die Rolle muß so groß sein, als es sein kann, ohne daß sie den Boden berührt, wenn die schiefe Ebene zugeklappt ist. Für die Stellung bedient man sich eines Stäbchens und befestigt mittelst Stiften auf der untern Seite der schiefen Ebene einige kleine Leisten oder macht einige entsprechende Vertiefungen in dieselbe, deren Entfernungen unter sich und der Höhe des Stäbchens gleich sind. Die Steigungen gehen dann immer in einfachen Zahlen fort.

Was die Last betrifft, so besteht sie am zweckmäßigsten aus einer Walze von Metall, zur Noth auch von altem mit heißem Firniß getränkten Holze; ihr Durchmesser richtet sich, wie die Figur zeigt, nach der Höhe der Rolle. Eine hölzerne Walze erhält aber jedenfalls zwei kleine eiserne Bolzen, an welcher sie abgedreht wird. An einem Rahmen *a b* von Messingblech wird bei *c* die Schnur befestigt und bei *d d* durch Aufbiegen der einen Seite die Axe der Walze in die dafür bestimmten Löcher gesteckt. Man erhält nur sehr wenig Reibung. Das Gewicht der Walze wird auf dieselbe gezeichnet, so wie 1/2, 1/3, 1/4 u. s. w. desselben.

Fig. 16.

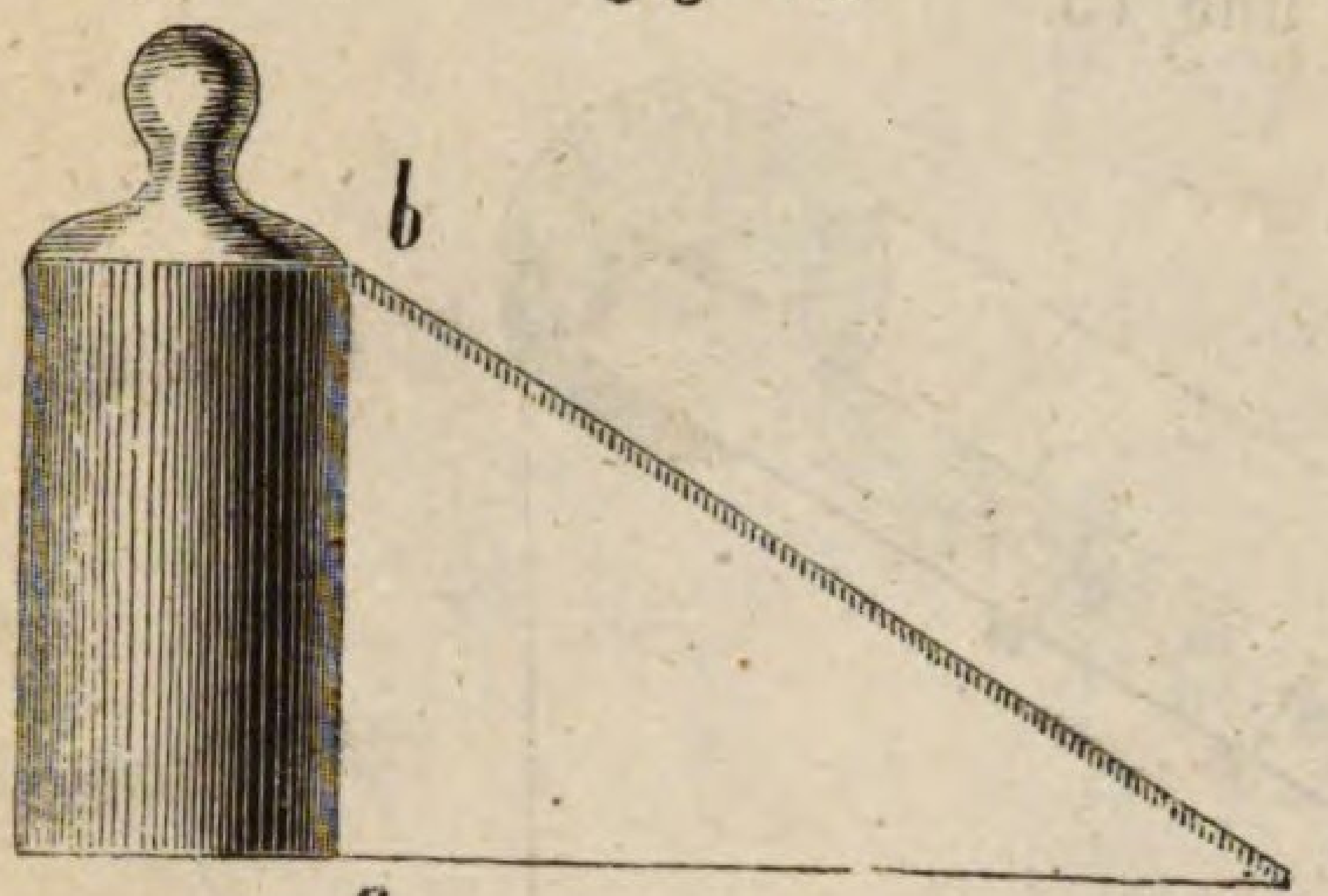
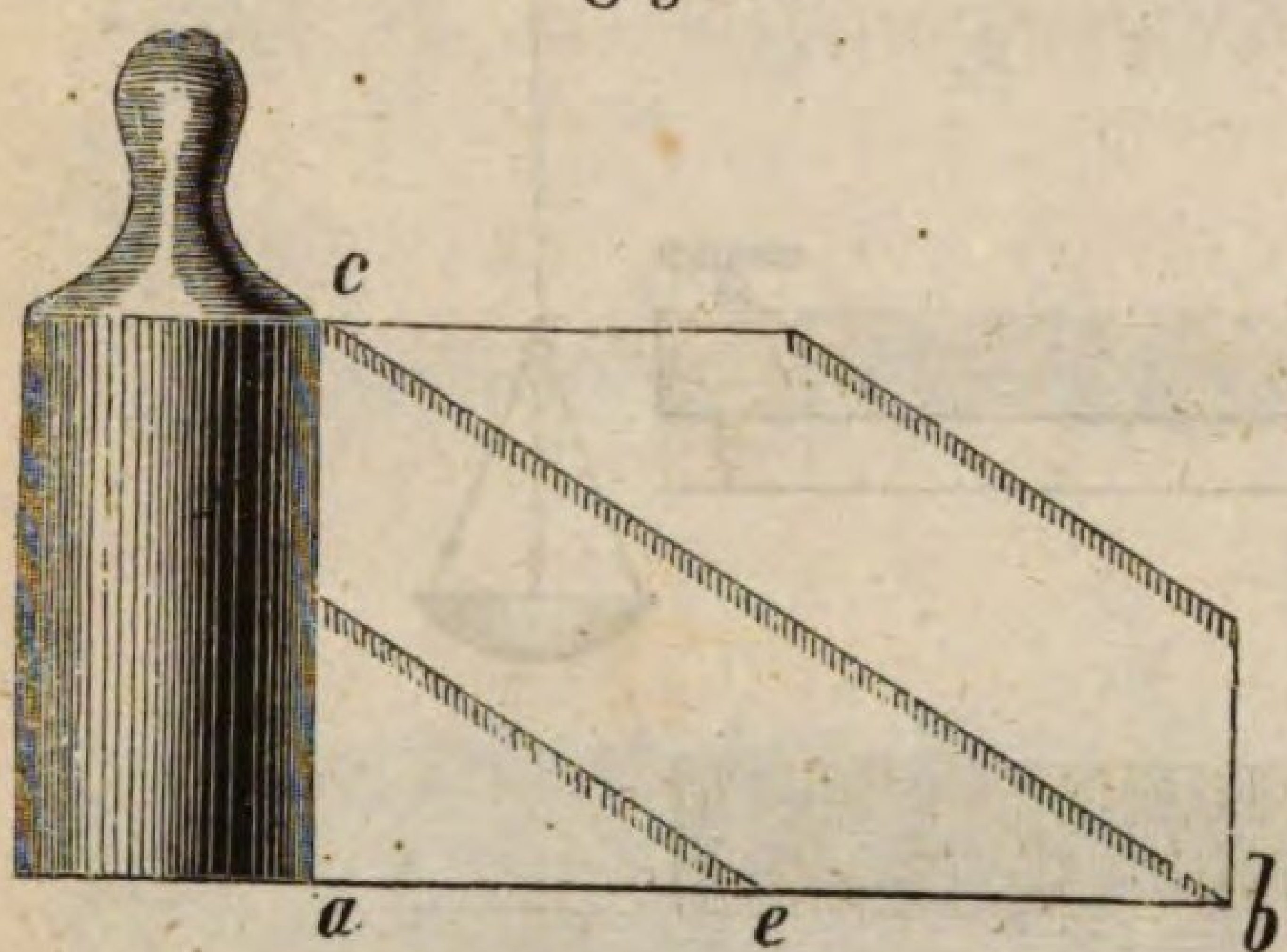


Fig. 17



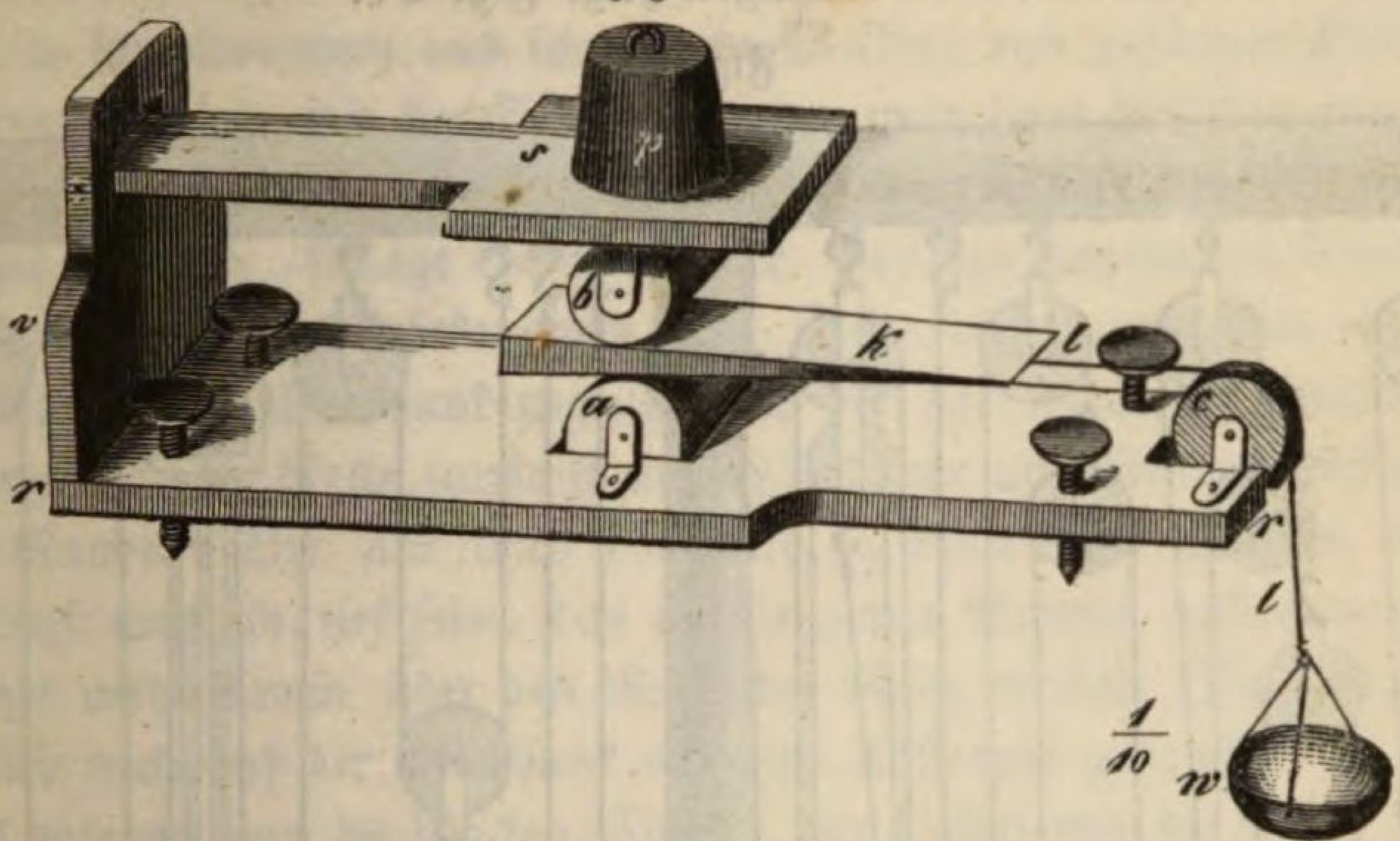
18 **Die Schraube.** Zur Erläuterung der Schraube dient am besten ein Cylinder von Holz von etwa 2 Zoll Durchmesser, an welchen ein rechtwinklichtes Dreieck von Papier, wie *a b c* Fig. 16, geleimt wird, dessen eine Kathete der Höhe, dessen andere dem Umfange des Cylinders gleich ist. Die Hypothenuse selbst wird mit einem breiten schwarzen Rande versehen und zeichnet beim Aufwickeln des Papiers um den Cylinder einen Umgang der Schraube.

Man kann so auch die doppelgängige Schraube darstellen, wie in Fig. 17, wo *ab* ebenfalls dem ganzen Umfange des Cylinders gleich und *ae* die Hälfte von *ab* ist.

19 **Der Keil.** Zur Erläuterung der Lehre vom Keile kann die einfache Vorrichtung Fig. 18 angewendet werden. Sie besteht aus einem Grundbrettchen *rr*; das mittelst vier Schrauben am Rande des Tisches horizontal gestellt werden kann, und in welches zwischen Stützchen aus starkem Messingblech die Walze *a* zum Theile eingelassen ist; außerdem befindet sich auf dem Brettchen die leicht bewegliche Rolle *c* zwischen gleichen Stützchen. Diese Rolle ragt mit ihrem Schnurlauf über den Rand des Brettchens hinaus, um der Wagschale *w* freien Spielraum zu lassen. An der Stütze *V* befindet mittelst eines gewöhnlichen Gelenkbandes oder an einem Nagel das Brettchen *ss* mit der Walze *b*, welche durch ein beliebiges Gewicht *p* gegen die Walze *a* gedrückt wird. Zwischen beiden wird der Keil *k* an der Schnur *l l* gehalten. Solche Keile hat man mehrere von verschiedener Basis bei gleicher Länge.

Die ganze Vorrichtung ist höchst einfach, einzig die beiden Walzen erfordern sorgfältige Arbeit. Sie werden aus Buxbaum verfertigt und mit ih-

Fig. 18.

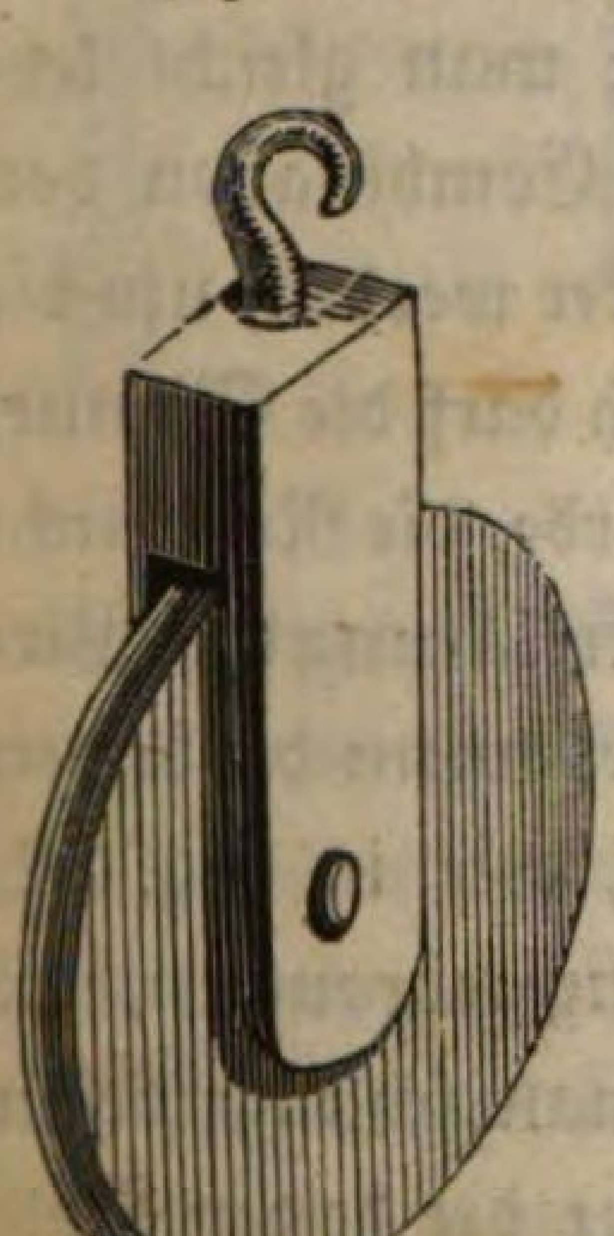


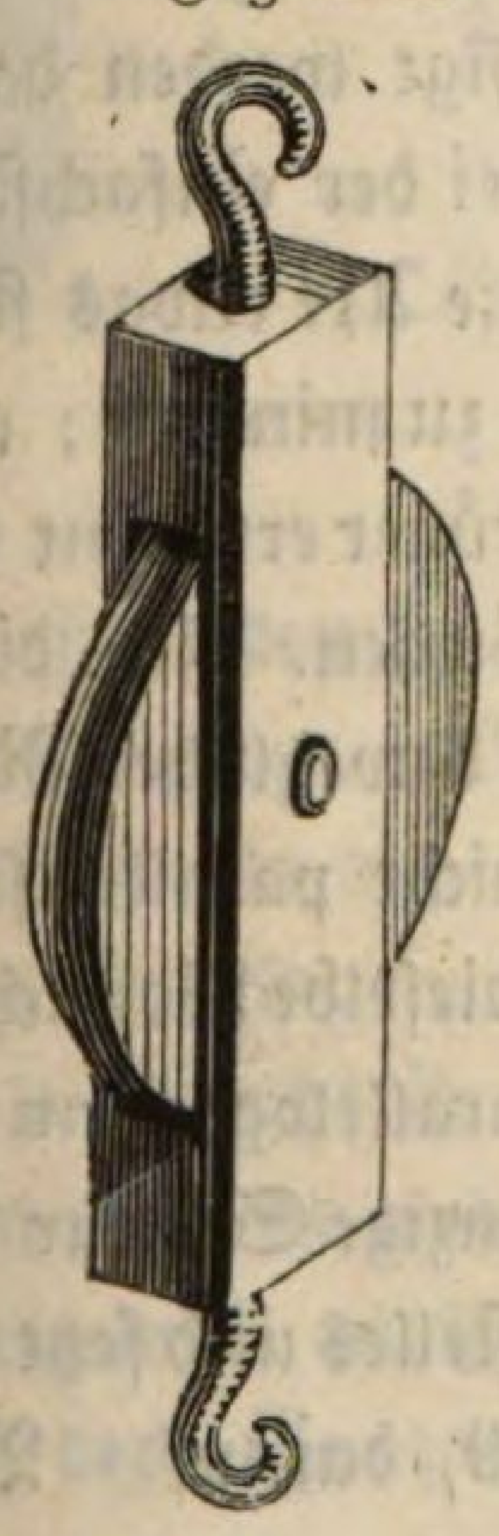
ren dünnen eisernen Zapfen zugleich abgedreht. Daß sich dieselben genau parallel gegenüber stehen, ist bei einiger Sorgfalt schon zu erreichen.

Die Anstellung der Versuche selbst unterliegt keinem Anstande; der Druck des Brettchens *s s* sammt der Rolle *b* wird dadurch bestimmt, daß man es mittelst einer Schnur an eine gemeine Wage befestigt und in die andere Schale so lange Gewicht legt, bis das Brettchen an seinem Gelenke horizontal steht. Dieses Gewicht wird auf das Brettchen *s* notirt und ist jedesmal zu *p* zu addiren. Gut ist es, dieses Gewicht so zu reguliren, daß es eine beliebige ganze Zahl der Einheiten beträgt, mit welchen man gewöhnlich solche Versuche macht, z. B. eine ganze Zahl Lothe.

In die Wagschale *w* kommt beim Versuche das vorher nach dem angewendeten Keile berechnete Gewicht, so daß der Keil das Brettchen *ss* ebenfalls horizontal erhält. Die Walzen erhalten eine Länge von 1 — 2 Zoll.

Fig. 19. Fig. 20.

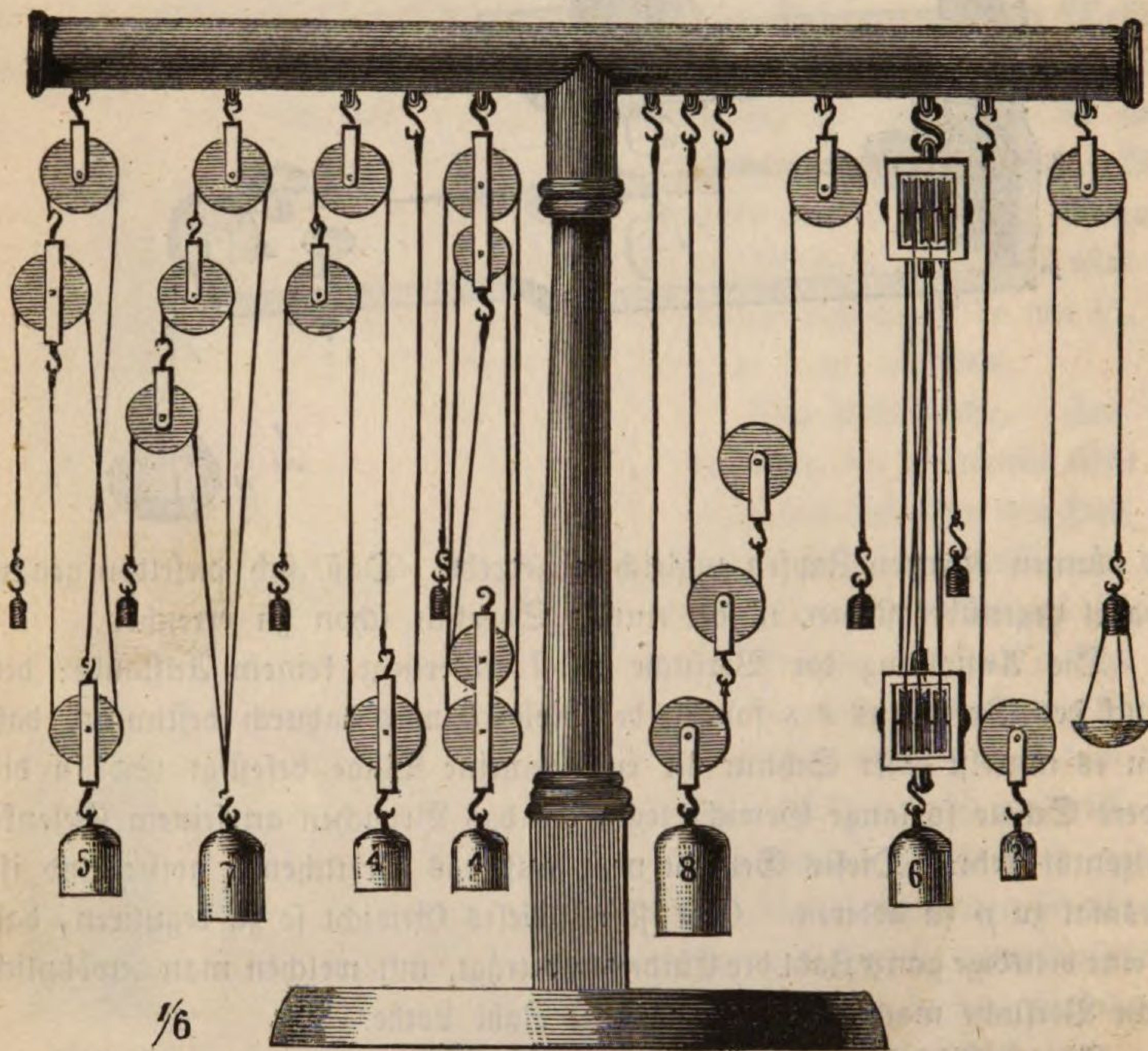




Die Rollen. Außer dem gewöhn- 20
lichen Flaschenzuge muß man bei dem Unterrichte besonders die Wirkung der beweglichen Rolle für den Fall erläutern, wenn die beiden Stricke derselben nicht parallel gehen; weil man hier gute Gelegenheit hat, das Kräfteparallelogramm wieder zu besprechen. Man muß überhaupt eine Anzahl einzelner Rollen mit beweglichem Haken von der Größe wie Fig. 19 und 20 haben, um noch verschiedene andere Rollenzüge nach Belieben

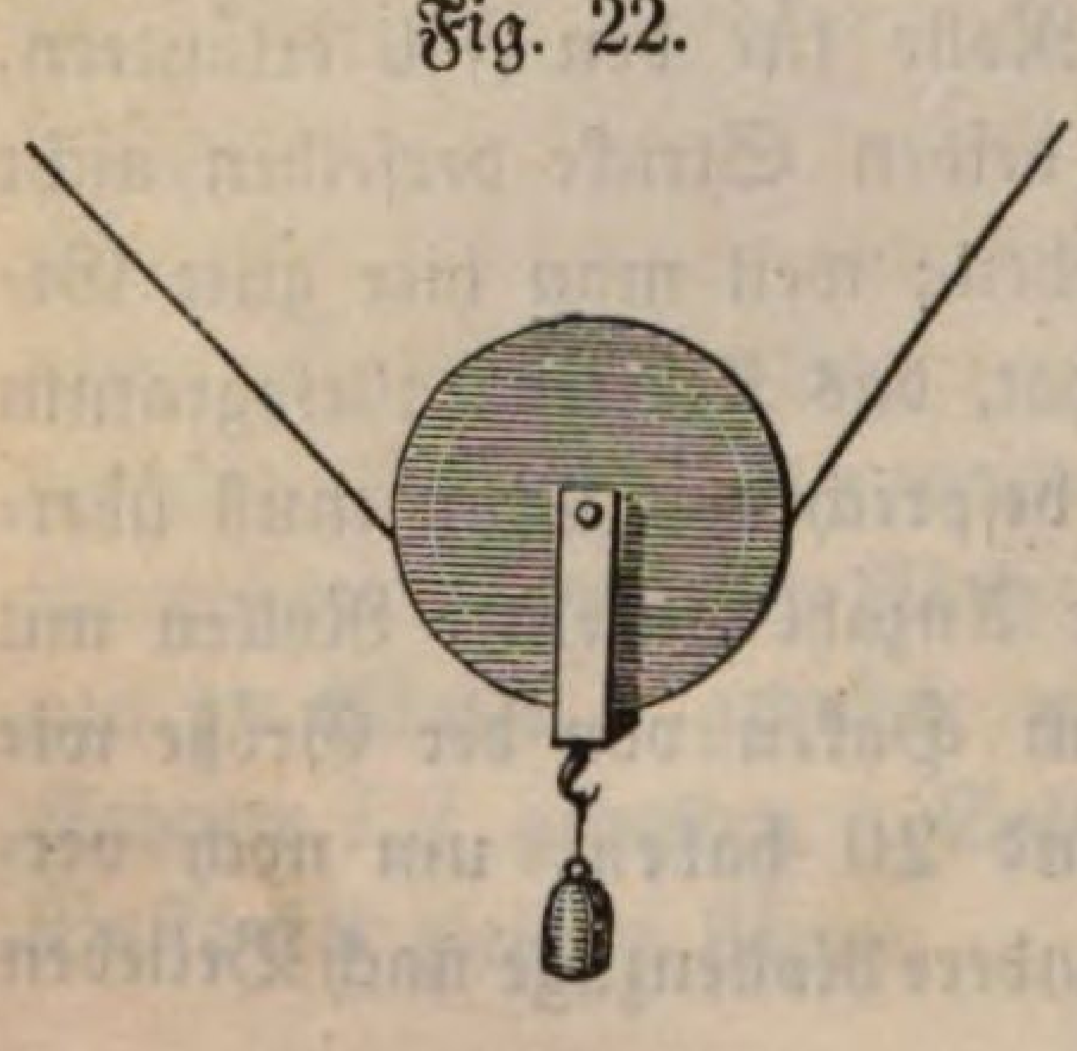
zusammensetzen zu können. Die Erörterung derselben gibt, wenn es die Umstände erlauben, Gelegenheit zur Selbstübung einzelner Schüler. Ein Gestelle mit verschiedenen Rollenzügen zeigt Fig. 21.

Fig. 21.



Was nun die Rollen selbst betrifft, so müssen dieselben leicht beweglich sein, und zwar so, daß bei den Versuchen ihr eigenes Gewicht, wenigstens wenn sie von Metall sind, nicht vernachlässigt werden darf; man gleicht letzteres durch eine besondere Wagschale, wie bei der einfachsten Combination von Fig. 21, aus. Alle Rollen müssen gegen die Axe etwas stärker werden, um die Reibung an den Haken der Flasche möglichst zu mindern; auch darf die Schnur, wie schon früher erwähnt wurde, die Rolle nicht verlassen können. Für die Erklärung der Wirkung einer beweglichen Rolle, wenn die beiden Schnüre nicht parallel sind, wie in Fig. 22, kann man dieselbe Vorrichtung gebrauchen, wie für das Parallelogramm; man schlingt dann nur eine einzige Schnur über die beiden Rollen des Gestelles und setzt eine bewegliche Rolle, wie Fig. 19, darauf. Bei den verschiedenen

Fig. 22.



Flaschenzügen kann man zugleich die Vortheile der verschiedenen Compositionen für die einzelnen Fälle der Verwendung erläutern.

Anfertigung der Rollen. Will man diese Rollen aus Messing ver- 21
fertigen, so schneidet man aus schwarzem Messing von gehöriger Dicke nahe zu kreisrunde Stücke mit der Säge aus, oder man haut dieselben mit einem Meißel aus, die vollständige Abrundung wird mit der Feile gemacht. Man durchbohrt sie nun, schlägt einen schwach verjüngt zugefeilten Draht von mindestens einer Linie Stärke durch und löthet diesen mit Zinn ein. Die Rolle wird auf der Drehbank zugleich mit der Axe abgedreht, wobei man dafür sorgt, daß die Rolle zunächst an der Axe nur um Weniges dicker bleibt als am Rande. Die Axe wird höchstens $1/2$ Linie stark gelassen, und der Schnurlauf muß so tief sein, daß er die ganze Schnur aufnehmen kann, und nichts mehr davon über den Rand der Rolle vorsteht (Fig. 23). Die Rolle wird noch auf der Drehbank vor dem Abstechen gefirnißt.

Es werden nun die Backen, Fig. 24, der Haken mit der Kehle, Fig. 25 und das Zwischenstück, Fig. 26, angefertigt, und letzteres nach der Dicke des Hakens tief angebohrt. Die Theile werden zusammengesetzt und so zwischen einem Feilkloben, der über die Hälfte des Zwischenstücks angelegt wird, zusammengehalten, daß die Rolle vollkommen leicht beweglich ist und beinahe oben am Zwischenstücke streift, damit die Schnur später den Schnurlauf nicht mehr verlassen kann. In dieser Lage bohrt man eine Oeffnung *a*, Fig. 27, durch den ganzen Kopf, welche mit dem Loche im Zwischenstücke

Fig. 23.



Fig 24.

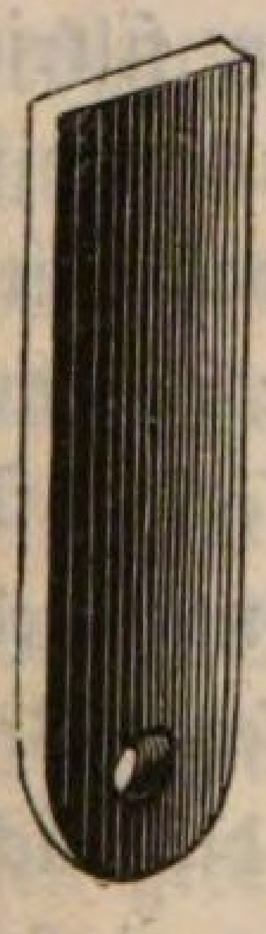


Fig. 25.



Fig. 26.

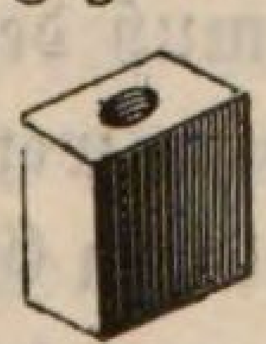
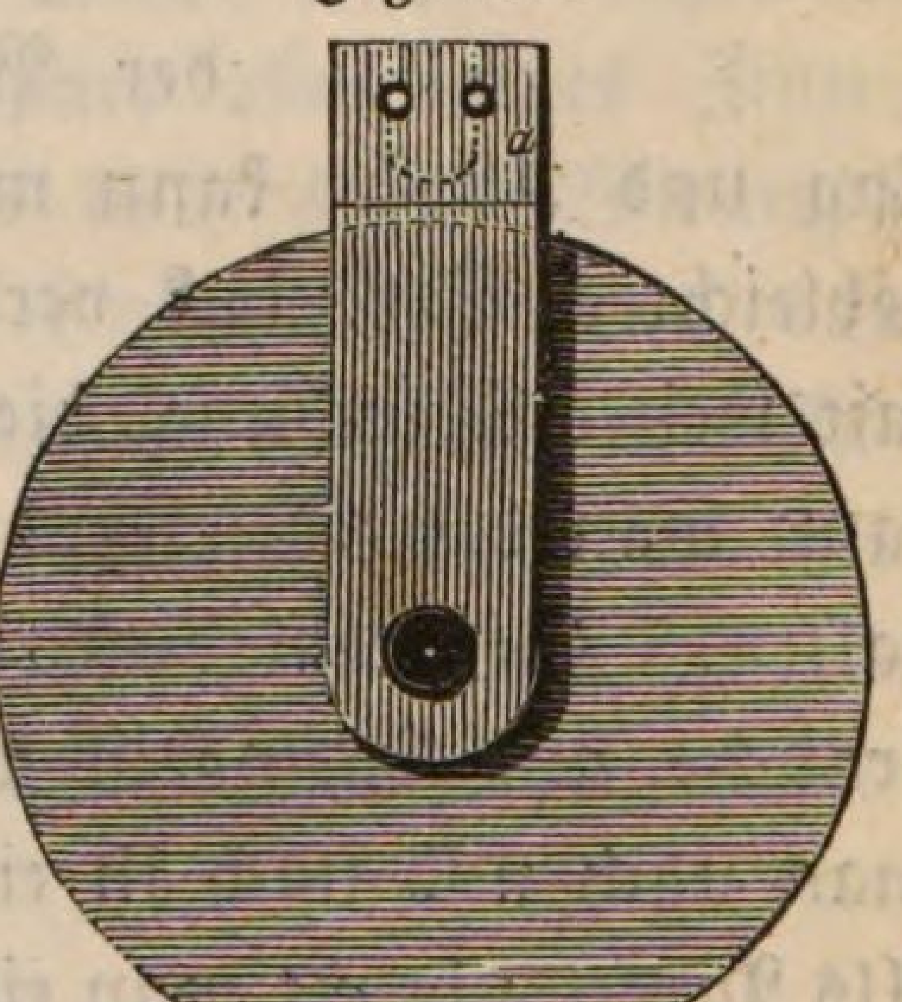


Fig. 27.



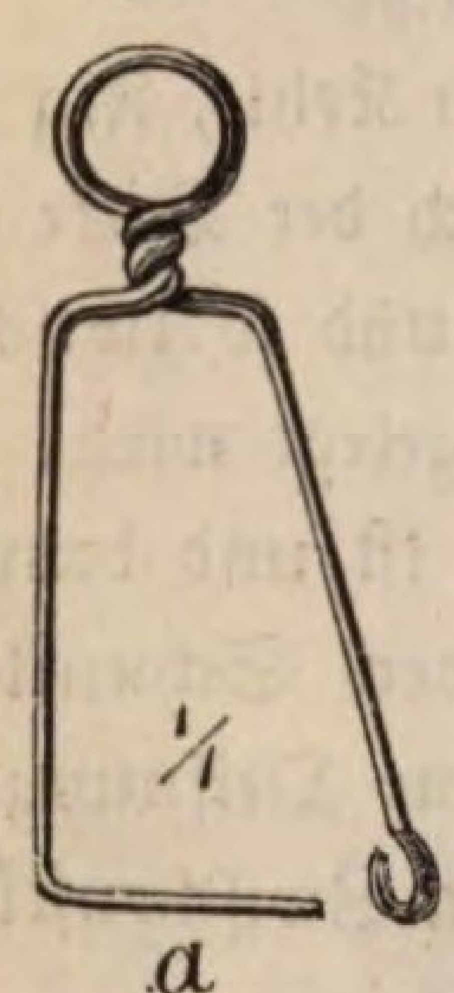
halb zusammen fällt, steckt den Haken ein und schlägt eine Niete durch, noch ehe man den Feilkloben öffnet. Man kann nun noch ein zweites Loch bohren, welches durch die Kehle des Hakens geht, oder auch an einer andern Stelle noch eine Niete anbringen. Sollte der Haken zu fest sitzen, so giebt man ihm etwas Oel und sucht ihn nach und nach zu drehen. Zuletzt verputzt man den ganzen Kloben und firnißt denselben.

Allerdings könnte man auch das Zwischenstück an den einen Backen löthen, oder es aus dem Ganzen mit ihm machen. Letzteres wenigstens

wäre nicht zu empfehlen, und nieten muß man ja doch, wenn man einen beweglichen Haken erhalten will. —

Bei hölzernen Rollen verfertigt man den Kloben aus einem Stücke gebogenen Messingblechs, die Rolle wird durchbohrt und die Axe im Kloben etwas vernietet; Gleiches geschieht auch mit dem Haken, dem man aber nachher ein wenig Oel giebt und ihn herum dreht, damit er beweglich werde. Kann man entweder nicht selbst solche Rollen machen, oder muß man dieses aus Mangel an Zeit unterlassen, muß man sich überhaupt, was so oft der Fall ist, mit dem Nothwendigsten begnügen, so läßt man um wenige Kreuzer vom Dreher aus hartem Holze eine Anzahl schon durchbohrter Rollen machen, biegt einen ihrer Oeffnung entsprechenden schön runden Eisendraht, wie Fig. 28, steckt die Rolle an *a* und biegt das Stück mit dem Oehr vollends zu, damit das Stück *a* durch dasselbe hindurchreiche. Man erhält so um äußerst geringe Kosten, beinahe ohne Mühe, die erforderliche Zahl noch ziemlich leicht beweglicher Rollen.

Fig. 28.



22 **Das Firnissen.** Bei dieser Gelegenheit wollen wir auch das Firnissen von Metallwaaren kurz erwähnen, da es ein für das schöne Aussehen der Apparate sehr wesentlicher Gegenstand ist. Als Firniß auf Metalle eignet sich vor allem Schelllack, das man zur Minderung der Sprödigkeit mit $1/_{10}$—$1/_{20}$ Mastix versetzen kann. Die Harze werden in 86—90procentigem Alkohol in gelinder Wärme aufgelöst und dann filtrirt. Auf Messing und Kupfer kann man wohl ungebleichtes, auf weiße Metalle nur gebleichtes Schelllack verwenden. Man bewahrt den Firniß in Gläsern mit weiter Mündung, die mit Kork verschlossen werden; durch diesen Kork kann man den Stiel des Pinsels stecken, um denselben stets weich zuerhalten. Geschieht dieses nicht, so muß der Pinsel nach jedesmaligem Gebrauche mit Weingeist ausgewaschen werden (diesen Weingeist sammelt man nach und nach in einem besonderen Glase für die nächste Auflösung). Als Pinsel nimmt man einen feinen und breiten Haarpinsel, noch besser ist ein feines Schwämmchen, welches zwischen Blech, wie die Pinselhaare, eingeklemmt wird und einen Stiel erhält wie ein Pinsel; es wird vorn eben geschnitten und steht nur einige Linien über dem Blech vor.

Die zu firnissenden Gegenstände werden vor dem Auftragen des Firnisses mäßig erwärmt, so daß man sie noch in der Hand halten kann, und dann mit mäßig gefülltem Pinsel bestrichen; gedrehte Gegenstände während sie auf der Drehbank umlaufen. Der Strich des Pinsels muß genau nach der Richtung der Striche auf dem Metall geführt, und der Druck auf denselben bei längeren Strichen nach und nach vermehrt werden, um überall

gleich viel Firniß hinzubringen; denn zum zweitenmale kann man nicht wohl mit dem Pinsel kommen; der nächste Strich wird, wenn der Gegenstand größer ist, schön parallel mit dem ersten geführt.

Alle zu firnissende Gegenstände müssen rein metallisch sein. Will man sie daher nicht unmittelbar nach dem Abdrehen, oder nach der Schlichtfeile firnissen, sondern ihnen durch Schleifen mit Bimsstein und zuletzt mit feinem Smirgel und Oele einen feineren Strich geben, so muß man durch Waschen mit heißem Seifenwasser und reinen Schwämmen das Fett wieder entfernen und dann das Stück mit reiner Leinwand abtrocknen. Messing nimmt hierbei zugleich auch eine mehr hochgelbe Farbe an. Nach dem Waschen darf man das Stück nicht mehr mit bloßen Fingern berühren. Man kann den Schellackfirniß wohl auch kalt auftragen, allein er wird nicht so schön, und es geschieht dieses nur, wo man zu anderen Zwecken, wie bei elektrischen Apparaten, durch mehrfache Ueberzüge eine dickere Schellackdecke erzielen will, oder wo man eben aus anderen Gründen den Gegenstand nicht erwärmen kann.

Holz und Papier können mit demselben Firniß bestrichen werden; es geschieht dieses natürlich kalt. Zu weißem Papier muß man gebleichtes Schellack verwenden; bei Holz und Papier muß aber der Anstrich öfter wiederholt werden, immer aber erst, nachdem der vorige gehörig trocken ist.

Das Löthen. Je nach der leichteren Schmelzbarkeit des Lothes 23
unterscheidet man zwischen hartem und weichem Lothe. Unter letzterem versteht man gewöhnlich nur das Loth der Klempner oder reines Zinn; manchmal enthält das Schnellloth der Klempner noch etwas Wismuth und ist dann noch leichtflüssiger. Zum harten Loth rechnet man das Silberloth (10löthiges Silber mit Messing legirt), Münzsilber (Silber mit 0,1 Kupfer), verschieden leichtflüssige Compositionen aus Zink und Kupfer, sogenanntes Schlagloth, Kupfer. Nur das leichtflüssigere Schlagloth, nebst Silberloth und Münzsilber können auf Messing — Kupfer nur auf Eisen gebraucht werden.

Alle Lothstellen müssen metallisch rein sein.

Bei dem Weichlöthen bedient man sich entweder des Kolbens, oder bei kleineren Stücken, des directen Erhitzens über der Weingeistflamme mit oder ohne Löthrohr.

Das Löthen mit dem Kolben kommt bei den kleinen Arbeiten, denen sich der Lehrer der Physik, wenn er nicht einen eigenen Laboranten hat, der dieselben versteht, beinahe nicht entziehen kann, wenig häufig vor, auch hat man allerwärts Gelegenheit es in kurzer Zeit zu lernen; viel häufiger kommt dagegen das Löthen ohne Kolben vor. Handelt es sich hierbei um das Zusammenlöthen von Messing und Kupfer, so bestreicht man die

mit feinem ausgeglühten Eisendrahte gut zusammengebundenen oder sonst wohl aneinander befestigten Löthstellen mit einer Salmiakauflösung und erwärmt den Gegenstand über der Weingeistlampe. Wenn derselbe eine dunkle Farbe annimmt, so berührt man die Fuge von Zeit zu Zeit mit einem dünnen langen Stückchen Loth, um zu sehen, ob dasselbe schmilzt; man wird diesen Zeitpunkt bald aus der Farbe beurtheilen lernen. Das Loth fließt dann sehr leicht in die Fuge, und man hat sehr wenig zu verputzen; immer muß man darauf sehen, daß das Loth auch gehörig durchfließt.

Soll Messing an Eisen gelöthet werden, wie z. B. bei den oben erwähnten Rollen, oder bei eisernen Schrauben mit messingenen Köpfen, so schlägt man den etwas kantig gefeilten Stift durch die durchgebohrte Scheibe hindurch, legt ein paar Körnchen Loth um den Stift, streut eine Prise gepulverten Salmiak darüber, und gießt einen Tropfen Oel darauf; man erhitzt sodann über der Weingeistflamme, bis das Loth durchgeflossen ist. Man könnte zwar auch hier nur Salmiakwasser nehmen, aber es geht schneller mit Oel. Man läßt bei solchen Schrauben den Draht beiderseits über den Kopf vorstehen, um letzteren bequemer auf der Drehbank bearbeiten zu können. Soll Eisen mit Zinn gelöthtet werden, so kann man ebenfalls so verfahren; ist aber die Stelle nach der Zusammensetzung nicht mehr einer größern Hitze auszusetzen, so muß man vorher auf gleiche Weise jedes Stück für sich verzinnen, sie zusammenfügen und die Spitze der Löthrohrflamme darauf richten, nachdem man die Löthstelle mit gepulvertem Kolophonium bestreut hat. Der Löthkolben thut hier freilich noch bessere Dienste als das Löthrohr.

24 **Das Hartlöthen.** Für kleine Gegenstände, um die es sich hier ohnehin meistens handelt, nimmt man am besten Silberloth, wie man dasselbe schon in Blechform beim Silberarbeiter bekommt, oder Münzsilber. Im letzteren Falle klopft man unter wiederholtem Ausglühen die Münze (einen halben Gulden oder einen Frank) zu dünnem Bleche, und schneidet die erforderlichen kleinen Stückchen mit der Scheere ab. Silber hat den Vortheil, daß man die Löthstellen klopfen und biegen kann, ohne daß sie brechen, was bei Schlagloth nicht, oder wenigstens nicht in gleichem Maaße der Fall ist. Der Kostenpunkt ist aber unbedeutend; man reicht weit mit einem halben Gulden. Schlagloth von verschiedener Schmelzbarkeit bekommt man schon granulirt im Handel, oder doch bei einem Kupferschmiede oder Gürtler.

Um zu löthen paßt man die Fuge gut zusammen und bindet sie mit ausgeglühtem eisernen Binddraht, legt kleine Stückchen Loth auf die befeuchtete Fuge, bestreut diese mit Borax und erwärmt den Gegenstand langsam, bis der Borax sich nicht mehr aufbläht, wobei man Achtung giebt, daß

das Loth an seiner Stelle bleibt. Kleinere Gegenstände bringt man nun auf eine große buchene Kohle gegen den Rand hin, die Löthstelle nach unten, und umgiebt sie noch mit anderen passenden Kohlenstücken von drei Seiten, so daß man die Löthstelle sehen kann, und deckt einige größere Kohlen darüber; hierauf richtet man mit dem Löthrohre die Weingeistflamme darauf, bis das Loth auf der Löthstelle zerfließt, worauf man die Deckkohlen entfernt. Auf eine sichere Lage des zu löthenden Gegenstandes zwischen den Kohlen muß man besonders bedacht sein, so wie man sich auch darauf einüben muß, ununterbrochen durch das Löthrohr zu blasen, und nebenher durch die Nase zu athmen.

Größere Gegenstände bringt man ebenso vorbereitet zwischen wohl angefeuerte Holzkohlen in die Esse oder ein gut ziehendes Kohlenbecken. Das Gebläse der Esse darf aber dabei nur schwach gebraucht und die Löthstelle jedenfalls nicht vom Winde getroffen werden, und man muß, wie beim Kohlenbecken, mittelst eines Stückes Pappe oder des Federnfächers fleißig die obern Kohlen anfachen. Da man hier gewöhnlich Schlagloth anwendet und dieses streng flüssiger ist, so muß man, besonders bei Messing, vorsichtig sein, damit dieses nicht durch schlecht geleitete Hitze stellenweise selbst in Fluß gerathe — verbrenne. Daß man jedesmal leichtflüssigeres Loth anwenden müsse, wenn an demselben Stücke wiederholt gelöthet wird, versteht sich von selbst.

Der Hebel. Um die Gesetze des Hebels zu zeigen, muß man sich 25
beim Unterrichte keine Zeit reuen lassen und dieselben in den mannigfaltigsten Anwendungen verfolgen; so einfach sie auch zu sein scheinen, so findet man doch ziemliche Schwierigkeit, bis die Schüler den Hebel in jeder seiner Anwendungen wieder erkennen und seine Wirkung zu schätzen wissen. Die Zeit aber, die man auf die Erörterungen und Einübung solcher Fundamentalgesetze verwendet, ist wohl die am besten verwendete.

Der Apparat, Fig. 29 und 30 (a. f. S.), ist ganz gut geeignet zur Darstellung der Gesetze des Hebels; er ist durchaus aus hartem Holze gefertigt, einige kleinere Stücke ausgenommen. Auf dem mit Stellschrauben versehenen Grundbrette *B A* steht senkrecht das Brett *M N* und vor ihm in der Mitte die Säule *C*. Das Brett *M N* hat drei Schlitze *D D D*, um darin Rollen befestigen zu können. Auf die Säule *C* ist der aus Messingblech gebogene Bügel *a* mittelst Holzschrauben befestigt; er hat in seinen Backen einen Einschnitt, um die Axe des Hebels aufzunehmen. Der Hebel selbst ist ein vierkantiger hölzerner Stab, durch dessen Mitte, genau senkrecht zu seiner Länge, eine stählerne Axe durchgetrieben ist; ein Stück einer guten Stricknadel taugt hiezu sehr wohl, wenn man seine Enden etwas konisch zuschleift und ein kleines Loch im Hebel vorbohrt. Die Axe wird etwas weniges über dem Schwerpunkte durchgetrieben. Von Zoll zu Zoll werden

nun auf gleiche Weise etwas dünnere Stifte möglichst genau durch die Axe des Stabes und senkrecht zu ihr durchgeschlagen, und in jeden derselben ein

Fig. 29.

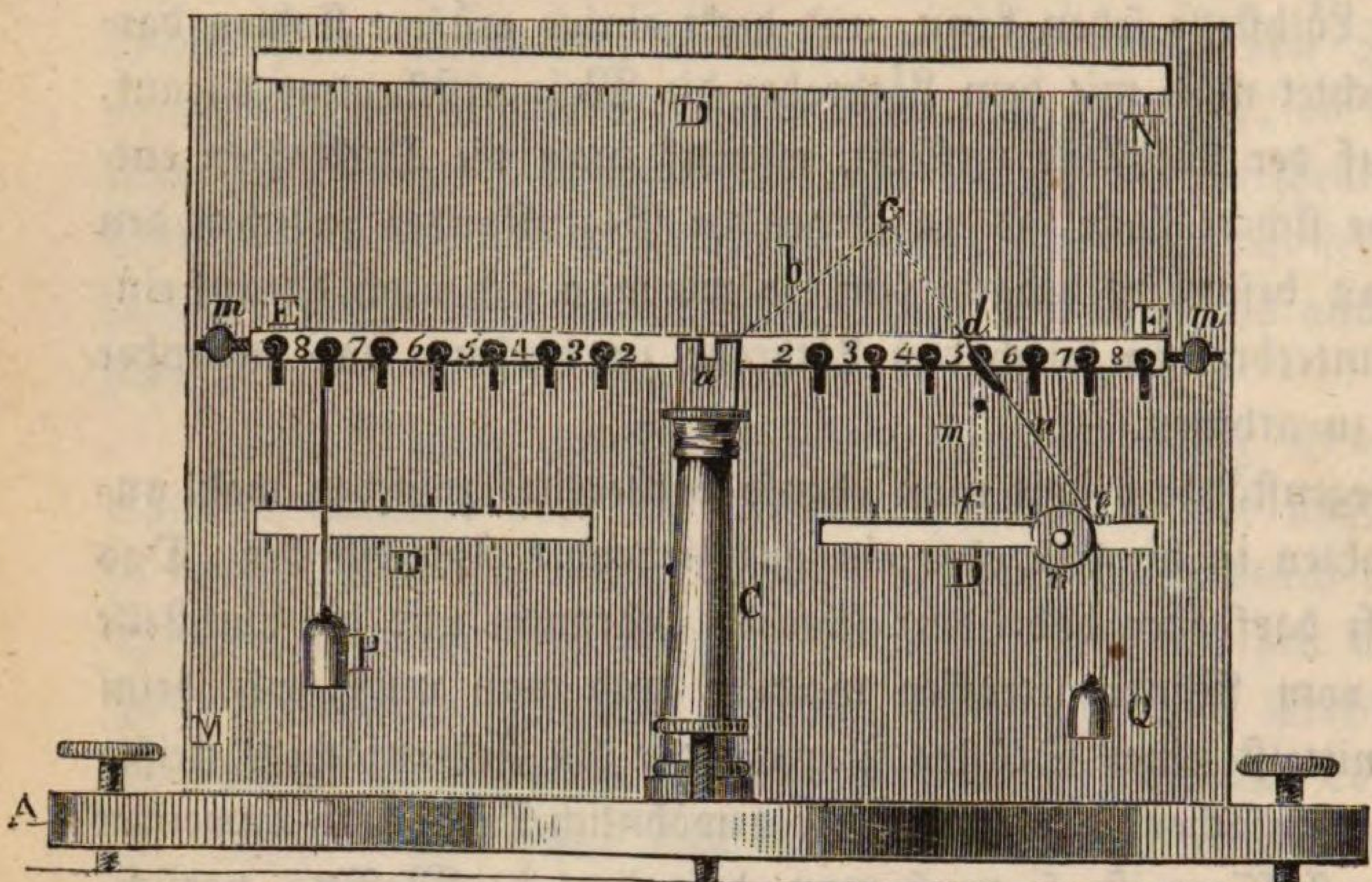
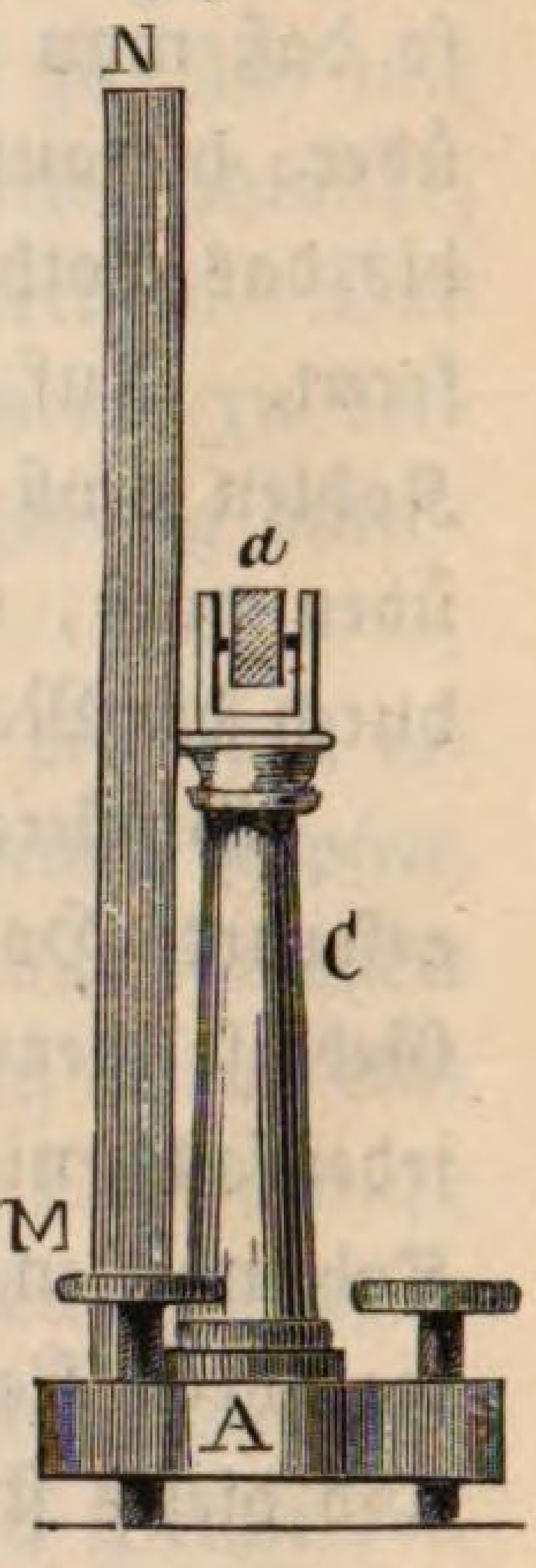


Fig. 30.



Bügel, wie Fig. 31, aus Messingdraht gehängt. Diese sind von der Mitte aus numerirt und man verfertigt sie aus gleichlangen Stücken von hartgezogenem Drahte, damit sie etwas federn und allenfalls auch abgenommen und mit der Biegung nach Oben eingehängt werden können. An seinen beiden Enden trägt der Hebel kurze Schrauben mit feinem Gewinde, worauf sich die beiden metallenen Kugeln *m m* hin und her schrauben lassen, um das Gleichgewicht um so leichter herstellen zu können. Für senkrecht wirkende Gewichte ist die Anwendung des Apparates für sich klar. Will man aber Kräfte schief auf den Hebel wirken lassen, so setzt man in einen oder beide untere Schlitze *D D* eine Rolle *n*, die parallel mit dem Brette *M N* umläuft; sie ist in Fig. 32 in natürlicher Größe abgebildet, ist von Bux oder Messing und läuft um eine mit dem Zapfen *R R* zugleich abgedrehte stählerne Axe, an welcher eine Schraube so weit angeschnitten ist, daß die Rolle zwischen dem Zapfen *R* und der rückwärts convexen Mutter *S* gerade noch den nöthigen Spielraum hat, wenn letztere ganz eingedreht ist. Ueber diese Rolle läßt man nun das an einem beliebigen Bügel befestigte Gewicht *Q* wirken und kann durch directe Messung die Entfernung *a c* der Richtung *d c* finden, in welcher nun dieses Gewicht auf den Hebel wirkt; *a c* ist aber nicht bequem zu messen.

Fig. 31.

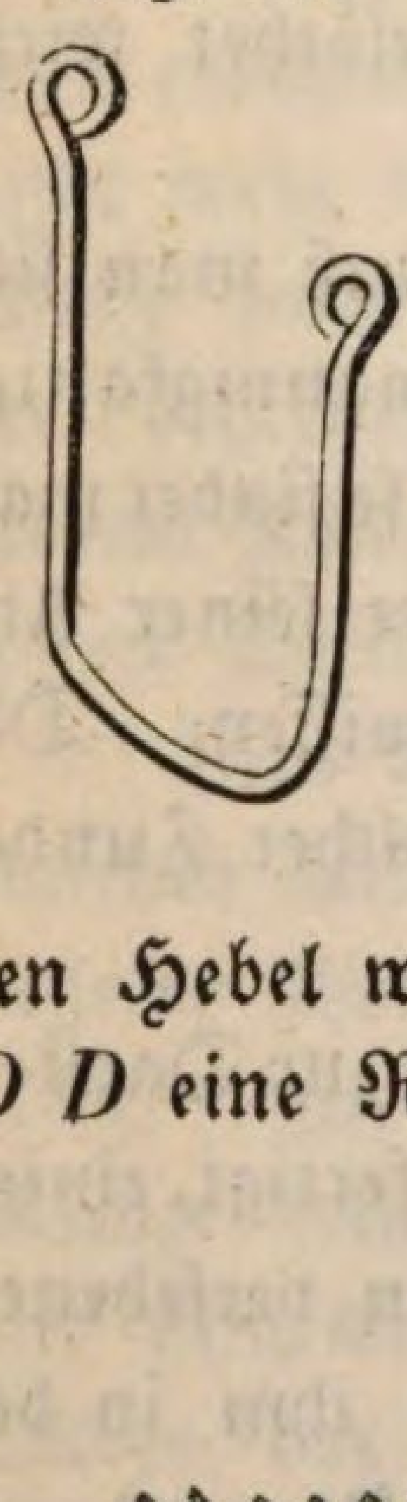


Fig. 32.



Ist aber der obere Rand des Schlitzes D um eine ganze Zahl von Zollen von der Mitte des Hebels in seiner Gleichgewichtslage entfernt, wie in der Fig. 29 um 3 Zolle, und mit einer Theilung versehen, welche mit der Theilung des Hebels zusammenfällt, so sind die Dreiecke $a\,c\,d$ und $d\,e\,f$ ähnlich und man kann aus $d\,f$, $d\,e$ und $a\,d$ die Entfernung $a\,c$ finden; $d\,e$ aber ist bequem zu messen. Für den gezeichneten Fall wäre $d\,f = 3$, $a\,d = 5$, $d\,e = 3^1/_2$, also $b = \frac{a\,d\,d\,f}{d\,a} = \frac{30}{7}$. Wollte man nun links in der Entfernung 7 ein direct wirkendes Gewicht anbringen, so wäre die Entfernung $\frac{49}{7}$ und die Gewichte müßten sich verkehrt wie die Entfernungen, d. h. $Q : P = 49 : 30$, verhalten, was, so wie jedes andere Verhältniß, auf die oben beschriebene Weise durch Münzen sehr leicht zu erlangen ist.

Will man den Hebel als einarmigen brauchen, so kommt eine Rolle, deren man mehrere hat, in den obern Schlitz, einer der Bügel wird nach oben gerichtet, und man läßt nun das daran befestigte Gewicht über die Rolle wirken und das zweite in der erforderlichen Entfernung direct. Um die Stellung der obern Rolle für den Zweck hinlänglich genau machen zu können, hat auch der obere Schlitz eine mit jener des Hebels zusammenfallende Theilung.

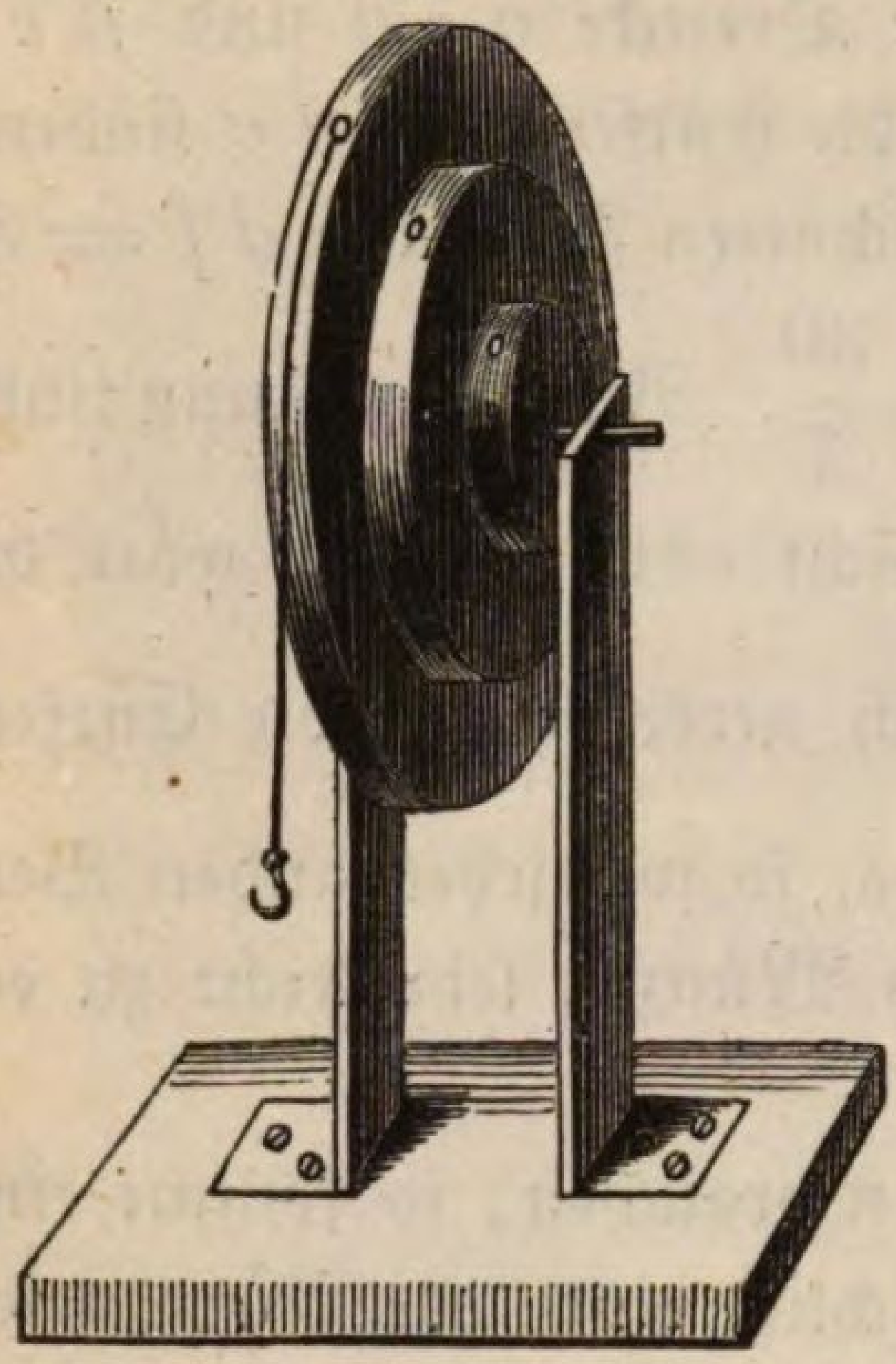
Man kann auch die Axe des Hebels selbst in einen solchen Bügel hängen und der Wirkung der beiden Seitenkräfte durch eine Mittelkraft, statt durch eine unveränderlich feste Unterstützung, das Gleichgewicht halten, um so nachzuweisen, was die Unterstützung bei a eigentlich zu leisten hat, und überhaupt das Gesetz des Gleichgewichts dreier Kräfte zu zeigen, deren Angriffspunkte durch eine gerade Linie verbunden sind.

Will man sich mit der einfachsten Vorrichtung begnügen, so hat man nur den hier beschriebenen Hebel mittelst eines etwas längern Bügels aus Messingdraht (Fig. 31) an irgend einem Haken aufzuhängen, wobei dann freilich nur senkrecht wirkende Gewichte angewendet werden können. Uebrigens kann man auch jede Schnellwage am längern Arme mit einer dem kürzern gleichen Theilung versehen und so, wenn gleich weniger allseitig, das Hebelgesetz nachweisen.

Das Rad an der Welle. Durch ein entsprechendes Stück von 26
hartem Holze wird eine eiserne Axe gesteckt und beide zusammen so abgedreht, daß das Holz eine Anzahl miteinander verbundener Scheiben darstellt, deren Durchmesser im Verhältnisse von 1, 2, 3 u. s. w. zu einander stehen (Fig. 33 a. f. S.). Jede Scheibe erhält zwei diametral einander gegenüberstehende kleine Haften zum Einhängen von Schnüren. Diese

Scheibe wird von zwei gleichen Schienen von Messing, die auf ein Brettchen geschraubt sind, getragen.

Fig. 33.



Zur weitern Erläuterung wird es nun gut sein, wenn man eine einfache hölzerne Welle mit eisernen Zapfen hat, an deren einen man eine Kurbel oder eine mit dieser gleichen Halbmesser habende Scheibe stecken kann, um daran die Wirkung der Kurbel zu erklären. Auch diese Zapfen müssen mit der Welle abgedreht sein und in messingenen ausgeschliffenen Lagern ruhen. Man kann dann die Einwirkung von Gewichten in verschiedenen Stellungen der Kurbel zeigen.

27 Hat man auf die Weise Knie, Rolle, Hebel, Rad an der Welle und Kurbel gehörig erläutert, so wird man sehr leicht zur Betrachtung einiger zusammengesetzter Maschinen übergehen können.

Auch für diese sind Modelle nöthig, sie werden aber nicht mehr mit Gewichten behandelt. Unter ihnen nimmt die gewöhnliche Fuhrmannswinde einen der ersten Plätze ein. Anstatt sich aber hiezu ein Modell anzuschaffen, wird man besser thun, eine gute Winde selbst, von der kleinsten Sorte, zu kaufen und das Deckblech der Räder, je nach der Construction entweder durchhauen zu lassen, daß man Rad und Getriebe sehen kann, oder wenn dieses nicht angehen sollte, das Blech zum Aufschrauben einrichten zu lassen, während es gewöhnlich aufgenietet ist. Man kann nämlich eine solche Winde auch sonst brauchen und sie kostet nicht mehr als ein Modell.

28 **Die Wage.** Wagen bedarf man zwei: eine feine für genaue Versuche, z. B. über das specifische Gewicht und eine gewöhnliche gute Wage zu den verschiedensten Zwecken. Nöthigenfalls kann die letztere auch zur Demonstration beim specifischen Gewichte gebraucht werden, wenn sie so viel Empfindlichkeit hat, als die bessern Wagen, welche Kaufleute gebrauchen.

Die Eigenschaften einer guten Wage sind bekannt. Bei der Anschaffung der ersten, die immer eine bedeutende Auslage veranlaßt, muß man sich an einen tüchtigen Mechanikus halten, und wenn man überhaupt eine feine Wage anschaffen kann, lieber etwas mehr aufwenden, weil man sonst jeden Augenblick gehemmt ist. Man muß darauf sehen, daß sie etwa 5 Hectogramme Tragkraft hat, und mindestens auf 0,00001, d. h. bei einem

Hectogramm Belastung ein Milligramm Ausschlag giebt. Ferner muß das Gestell mit Stellschrauben zum Horizontalstellen versehen sein, da das Aufhängen in der sogenannten Scheere, wie bei gemeinen Wagen, hier Nichts taugt. Man kann sich zwar hier durch untergeschobene Keile ebenfalls helfen, oder durch Aufstellen auf einem andern mit Stellschrauben versehenen Brette, was man ohnehin zu vielerlei andern Zwecken braucht, aber beides ist umständlich.

Eine solche Wage muß auch eine kürzere Wagschale haben für die bequeme Bestimmung des specifischen Gewichtes.

Ein wesentliches Erforderniß für deren Erhaltung besteht darin, daß mindestens die Hauptaxe in der Ruhe ab ihrer Unterlage kommt, und durch eine sanfte Bewegung wieder auf dieselbe gebracht werden kann; die Ketten oder Stäbe der Wagschalen müssen dabei so lang sein, daß auch die Schalen in der Ruhe aufstehen und erst, kurz nachdem die Hauptaxe wieder gehoben ist, ebenfalls mitgenommen werden. Daß der Kasten rings um oder wenigstens von zwei Seiten Glaswände habe, ist bei dem Unterrichte sehr bequem, auch muß die Einrichtung so sein, daß man nicht nöthig hat, den Kasten beim Gebrauch ganz zu öffnen, was dadurch erreicht wird, daß sich die vordere Wand in die Höhe schieben läßt. Die Gleichheit der beiden Wagarme untersucht man bekanntlich so, daß man die Wage durch nahezu ihr höchstes Gewicht belastet, und nachdem das Gleichgewicht hergestellt ist, die Schalen sammt den Gewichten verwechselt; es muß auch dann noch Gleichgewicht stattfinden; doch darf dieses bei sehr empfindlicher Wage nicht mathematisch scharf verstanden werden, und wo es sich daher um sehr genaue Bestimmungen handelt, wird man immer zur Methode der doppelten Abwägung greifen müssen. Daß die Schneiden in einer Ebene liegen, unter sich parallel, scharf, gerade und nebst den Pfannen hart seien, darf man bei einer solchen Wage wohl voraussetzen.

Was den Gebrauch betrifft, so weise man dem Instrumente einen festen hellen Standpunkt an, an welchem es ohne Umstände stets gebraucht werden kann, und lasse es an demselben. Ist man genöthigt, diese Wage in das Unterrichtslocal zu bringen, so versäume man nie auch die Aufhängestücke der Schalen von ihren Schneiden zu nehmen, wenn dieses nicht etwa durch den Mechanismus der Wage im Ruhezustande von selbst geschieht, weil sonst diese Theile durch das Rütteln bald Schaden leiden.

Bei dem **Wägen** selbst wird man am schnellsten zum Ziel gelangen, 29
wenn man die Gewichte der Reihe nach anwendet, ohne eines zu übergehen; denn man täuscht sich sehr oft, wenn man schnell nach den kleineren greift und ist dann genöthigt, wieder von vorn zu beginnen. Um die Wage

keinen unnöthigen Schwankungen auszusetzen, nimmt man ein zu schweres Gewicht nicht weg, bevor das nächst kleinere aufgelegt ist, auch hebt man die Wage erst dann auf ihre volle Höhe, wenn man an so kleine Gewichte gekommen ist, bei welchen die Wagschalen die Unterlage nicht mehr erreichen. Nur durch die schonlichste Behandlung läßt sich ein solches Instrument in gutem Zustande erhalten.

Den Stillstand der Wage wartet man nicht ab; da der Zeiger sich auf getheiltem Gradbogen bewegt, so kann man den gleichen Ausschlag sehr sicher beurtheilen; man erhält sogar dabei sicherere Resultate als beim wirklichen Stillstand. Dieser tritt aber sehr bald ein, wenn bei specifischen Gewichtsbestimmungen der zu wägende Körper im Wasser hängt, des größeren Wiederstandes wegen.

30 **Bei Anschaffung der gemeinen Wage** muß man auf eine Tragkraft von 5 bis 10 Pfund sehen und auf gehörige Empfindlichkeit, so nämlich, daß sie wenigstens bei geringeren Belastungen noch auf 0,0001 (1 Decigramm) einen Ausschlag giebt; man kann dadurch die feine Wage schonen. Auch sie sollte an einem bestimmten, zum Gebrauch bequemen Platze aufgehängt sein, und dazu braucht man zwei Haken, einen, an welchem die Wagschalen schweben, und einen niedrigen, an welchem sie auf einer Unterlage ruhen. Da sie oft beim Unterrichte gebraucht wird, so befestigt man in der Decke über dem Experimentirtische einen gehörig langen Draht dazu, an dem man die Wage aufhängen kann. Schafft man sich nur diese Wage an, und sie ist bei der angegebenen Empfindlichkeit zur Demonstration ausreichend, so muß man doch noch ein paar flache Wagschalen dazu haben, um sie z. B. bei Bestimmung des specifischen Gewichts zu benutzen. Bei ihr ist eine sorgfältige Untersuchung aller Theile schon nothwendig, da sie gewöhnlich nicht von Arbeitern gefertigt wird, welche genau wissen, um was es sich hier handelt. Man muß also außerdem, daß man die Gleicharmigkeit der Wage hier wie immer prüft, auch untersuchen, ob die drei Schneiden in gerader Linie liegen. Geht dieses vermöge des Baues der Wage an, so ist die Untersuchung mit einen gespannten feinen und glatten Faden das einfachste Mittel, wo nicht, so muß man durch Wägungsversuche die Sache ermitteln. Die Wage darf an Empfindlichkeit nicht zu sehr abnehmen, wenn die Belastung steigt, und darf auch bei höchster Belastung nicht toll werden; denn im ersten Falle läge die mittlere Schneide zu hoch gegen die äußeren, oder vielmehr die gerade Linie durch letztere unter dem Schwerpunkte der Wage, im letzteren Falle aber läge diese gerade Linie über der mittleren Schneide. Giebt z. B. eine Wage, welche leer auf 1 — 2 Centigramm einen Ausschlag giebt, bei einer Belastung von 3 Kilogramm in jeder Wagschale noch auf 2—3 Decigramm einen Ausschlag, so kann man in dieser Beziehung zufrieden

sein. Daß die Empfindlichkeit der Wage nicht durch dasjenige Gewicht bestimmt wird, welches dieselbe aus der Ruhelage in Bewegung versetzt, sondern durch jenes, welches den Ausschlag der in Bewegung befindlichen Wage ändert, darf als bekannt angenommen werden. Die Hauptaxe muß schief abgeschnitten sein, damit sie an jenen Platten, welche die Reibung des Balkens an den Pfannen verhüten sollen, selbst nur mit der Spitze der Schneide in Berührung komme, auch soll der Spielraum der Axe gegen diese Platte $1/2$ Linie beiderseits nicht überschreiten.

Entspricht eine Wage in diesen verschiedenen Beziehungen nicht, so wird man sie nicht kaufen. Wenn man aber schon eine unrichtige hat, so muß man alle Theile derselben wohl untersuchen. Sind Pfannen und Schneiden nicht hart — die Feile darf nicht angreifen, so schlägt man sie mit dem hölzernen oder kupfernen Hammer heraus, und härtet sie, oder ersetzt sie durch neue aus besserem Stahle und schleift und polirt sie wieder. Näheres über diese Arbeit ist bei der Lehre vom Pendel angegeben. Bleibt die Wage noch unempfindlich, so liegt ihr Swerpunkt zu tief, man muß also entweder unter dem Aufhängepunkte Masse wegnehmen oder an der Zunge solche zusetzen; sind endlich die Schneiden nicht richtig gestellt oder die Arme ungleich lang und die Schneiden nicht verstellbar — was an solchen Wagen wohl nie vorkommt, so könnte man wohl mit dem Hammer helfen, allein das ist doch schon eine etwas mißliche Arbeit, mit der man um so weniger leicht fertig wird, als man keine Uebung darin erlangen kann; zu dem ist der Preis einer neuen Wage eben nicht hoch.

Gewichte. Außer den landesüblichen Gewichten hat man sehr oft 31
Nürnberger Apothekergewicht und vor allem französisches Gewicht nöthig. Ersteres erhält man bis auf Grane herunter bei jedem Apotheker in der erforderlichen Genauigkeit, letzteres aber muß man von einem bewährten Mechanikus beziehen, da das Anfertigen zehntheiliger Gewichte eine höchst mühsame Arbeit ist, wenn es nicht nach einem Muttergewichte geschehen kann. Selbst bei gehöriger Vorsicht, wozu namentlich das nicht zu umgehende jedesmalige Einlegen der Gewichtstheile, welche nicht gerade auf der Wage liegen, an die gehörige Stelle des Futterals gehört, wird es doch wohl auch begegnen, daß eines der kleineren Gewichte durch unrichtiges Anfassen mit dem Zängchen ausspringt und nicht wieder gefunden wird. Darum wird es gut sein, sich in Zeiten dieselben aus recht dünnem Feinsilberblech mehrfach anzufertigen. Solches Blech kann man bei Silberarbeitern leicht bekommen, der Betrag ist kaum nennenswerth. Bis auf Centigramme reicht zum Justiren auch die oben erwähnte feine hydrostatische Wage aus. Allein für die Milligramme wird man sich nur so helfen können, daß man aus einer Stelle des Bleches ein viereckiges Stück von einem Decigramm abwägt, es mit dem Zirkel am Rande sorgfältig theilt

und dann mit einem scharfen Messer längs einem metallenen Lineale in Stücke von 5, 4, 3, 2, 1 Milligramm zerschneidet. Die Einzelnen werden dann auf der Wage noch nachgewogen, um etwaige gröbere Unrichtigkeiten zu entdecken. Chemiker besitzen öfter Wagen, die bis auf 0,1 Milligramm empfindlich sind, und man muß solche Gelegenheiten benutzen, um sich die kleineren Gewichte zu justiren, auch hat man hierzu manchmal Gelegenheit bei den Haupteichstätten des Staates. Da die deutschen Civilgewichte nach Halbirungen fortschreiten, so bedarf man nur eines einzigen sichern Gewichts, um sich die übrigen alle selbst zu justiren. Man verfährt dabei so, daß man das Muttergewicht mittelst Schrotkörnern und Stanniolblättchen auf der Wage ins Gleichgewicht setzt, das Gewicht wegnimmt, und nun das Gegengewicht auf beide Schalen vertheilt, bis die Wage wieder im Gleichgewichte ist. So fährt man bis auf die kleineren Theile fort, da man sich zu genaueren Arbeiten nur wenig auf die im Handel vorkommenden, wenn auch gestempelten Gewichte verlassen kann. Man geht hier immer vom größeren Gewichte aus, denn umgekehrt würden sich die Fehler multipliciren. Zuletzt müssen alle neugefertigten kleineren Gewichte, welche dem Muttergewichte zusammengenommen gleich sein sollen, auch zusammen mit diesem verglichen werden, und ihm wenigstens nahe zu wieder gleich sein.

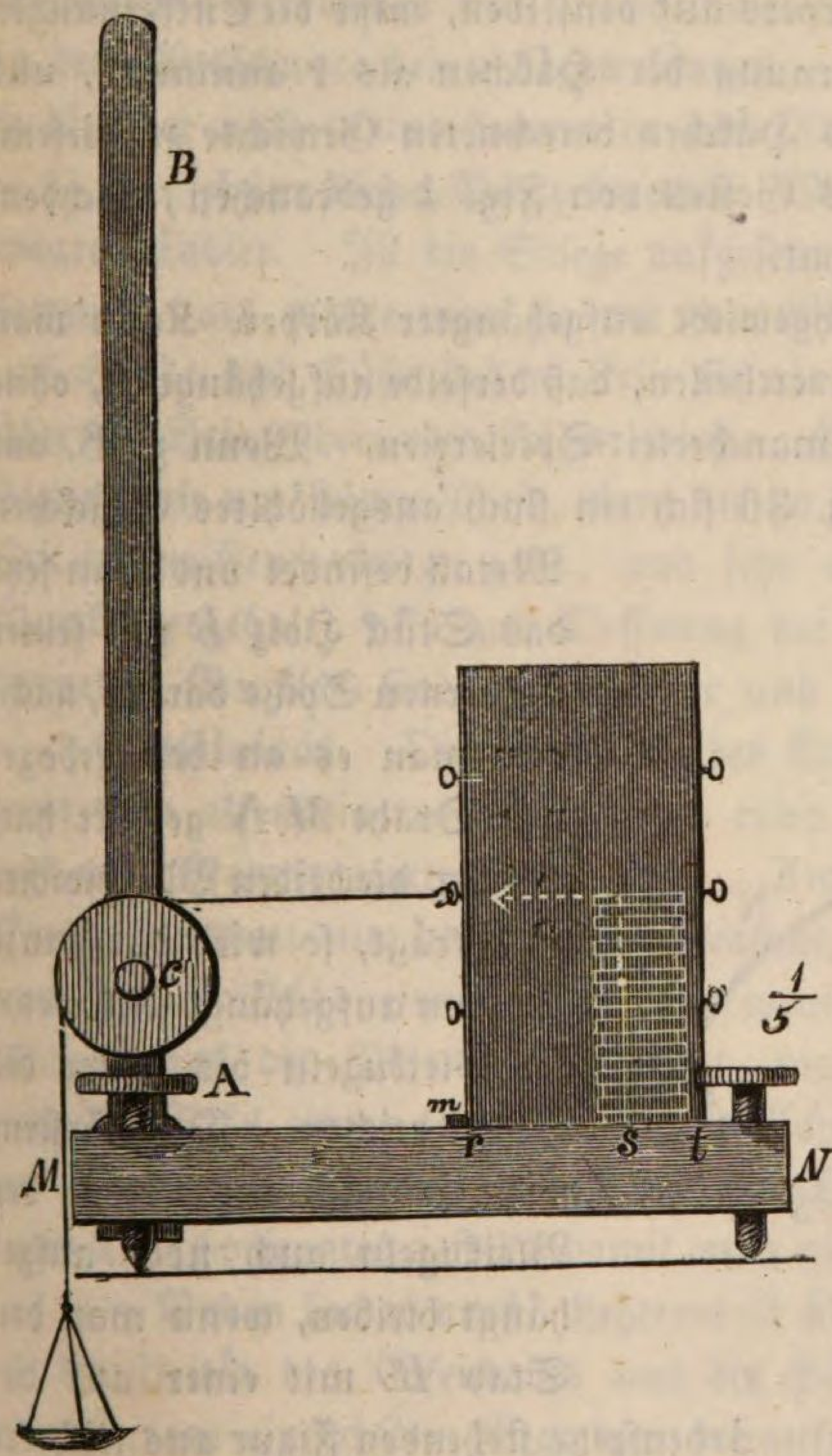
32 **Schnellwage.** Eine Schnellwage hat man bloß zur Demonstration ihres Gebrauches nöthig; man controlirt dieselbe vor dem Ankaufe durch angehängte Gewichte.

33 **Brückenwage.** Die Einrichtung derselben kann an jedem Exemplare erläutert werden; darf aber nicht wohl unterbleiben, ihrer allgemeinen Verbreitung wegen. Bei ihrer Beurtheilung kommt es neben der Empfindlichkeit, die übrigens 0,0001 (nie bis 2 Quentchen) selten übersteigt, hauptsächlich darauf an, daß sie ihr Decimalverhältniß bei verschiedenen Gewichten bewährt, wenn auch die Gewichte auf eine beliebige Stelle der Brücke gebracht werden. Sehr geeignet zur Demonstration ist eine Brückenwage von etwa einem halben Centner Tragkraft, deren Brücke nur aus einem schmalen Rahmen und zwei Klappen besteht, welche den Rahmen beim Zumachen ausfüllen, die Klappen sind durch Gelenkbänder an den Rahmen befestigt und lassen, wenn sie geöffnet sind, die unteren Hebel sehen.

34 **Standfestigkeit.** Die Erläuterung der Gesetze, nach welchen sich die Standfestigkeit richtet, kann durch den in Fig. 34 und 35 abgebildeten Apparat sehr gut geschehen. Auf dem mit Stellschrauben versehenen Brettchen *MN* steht der vierkantige Eisenstab *B*, an welchem sich die Hülse *a b* mit der Rolle *c* verschieben und durch die Druckschraube *d* beliebig feststellen läßt. In der Mitte, quer über dem Brettchen, ist die dünne Messing-

schiene $m\ m$ befestigt. Man läßt nun ein genau senkrechtes Prisma von Weißbuchenholz verfertigen, bohrt mit einem Centrumbohrer eine seiner Grundflächen

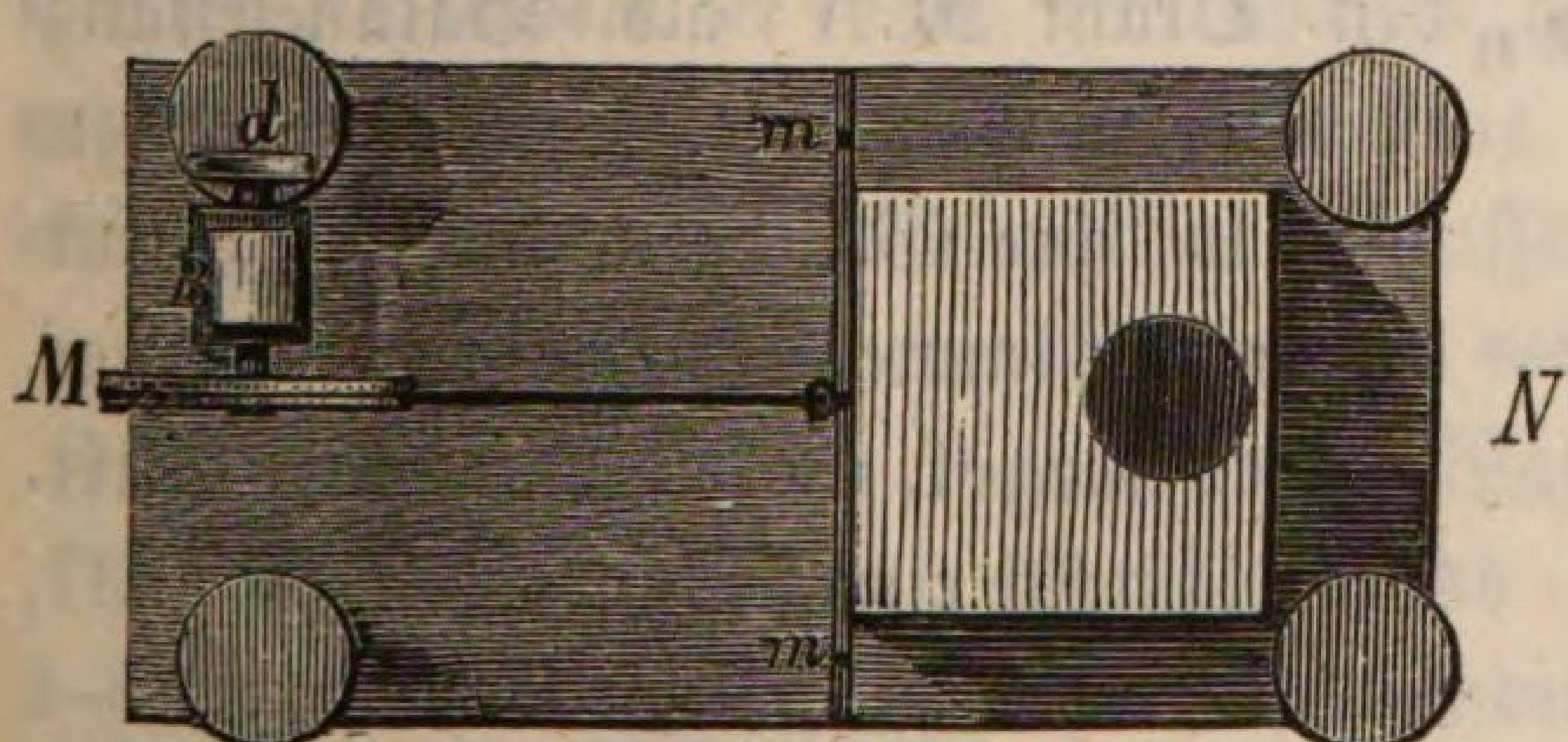
Fig. 34.



außerhalb ihrer Mitte bis auf die halbe Höhe an, so aber, daß der Mittelpunkt des Loches der Mitte der Seitenfläche gegenüber liegt, der er am nächsten ist, wie in Fig. 35. Die Oeffnung wird mit Blei ausgegossen, und dieses, nachdem es kalt geworden ist, von unten etwas gehämmert, damit es sich im Loche wieder fest macht.

Man bestimmt nun durch Auflegen auf die scharfe Kante eines Lineales die Lage des Schwerpunktes dieses Körpers. Wenn man ein in der Textur gleichförmiges Holz ausgewählt und das Loch für das Blei genau auf die Mitte jener Seite gebohrt hat, der es am nächsten liegt, so wird auch der Schwerpunkt in dem durch diese Mitte gehenden senkrechten Schnitte liegen. Die Mittellinie dieser und der ihr parellelen Seite wird nun in 4 Theile getheilt und auf jeden Theilpunkt ein Häkchen eingeschlagen, an welches eine über die Rolle laufende Schnur mit einer Wagschale gehängt wird. Die Rolle wird so gestellt, daß die Schnur horizontal steht.

Fig. 35.

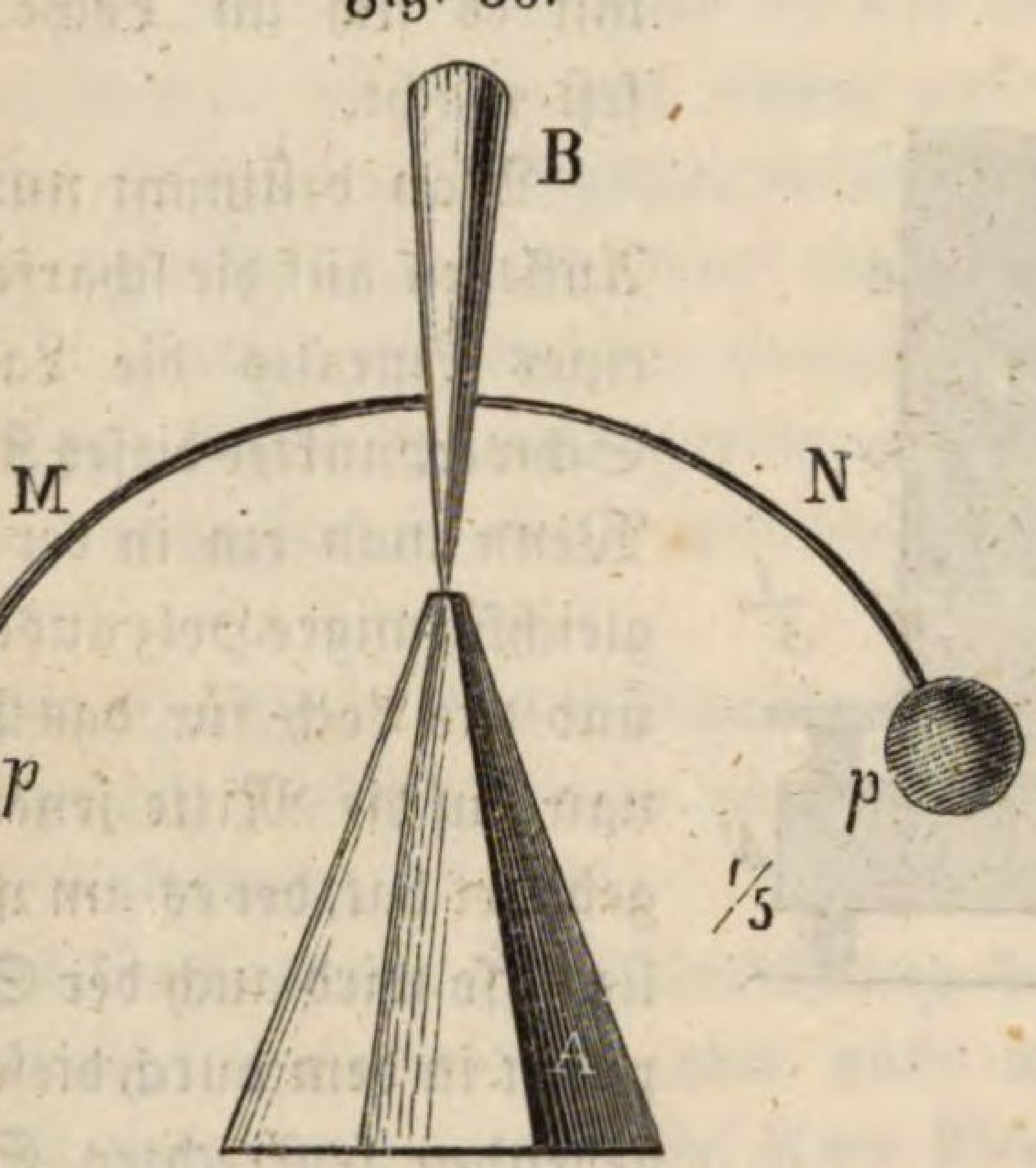


Man kann nun aus der Entfernung der Directionslinie der Schwere von jener Kante, über welche das Prisma geworfen werden soll, aus der Entfernung des Angriffspunktes von derselben Kante und aus dem ganzen Gewichte des Körpers, das Gewicht berechnen, welches nach dem Gesetze über die Standfestigkeit an der Schnur angebracht werden muß, um in

jeder der vier Stellungen, die der Körper haben kann, seine Standfestigkeit zu überwinden, wenn der Haken der Schnur an irgend einem der 6 Häkchen befestigt wird, wobei man die Wagschale natürlich mit einrechnet. Man schreibt das Gewicht des Körpers auf denselben, mißt die Entfernungen *r s*, *s t*, indem man die Entfernung der Häkchen als 1 annimmt, und schreibt sie nebst dem für jedes Häkchen berechneten Gewichte zu diesem. Man kann übrigens hiefür das Gestell von Fig. 4 gebrauchen, nachdem man Hebel und Knie entfernt hat.

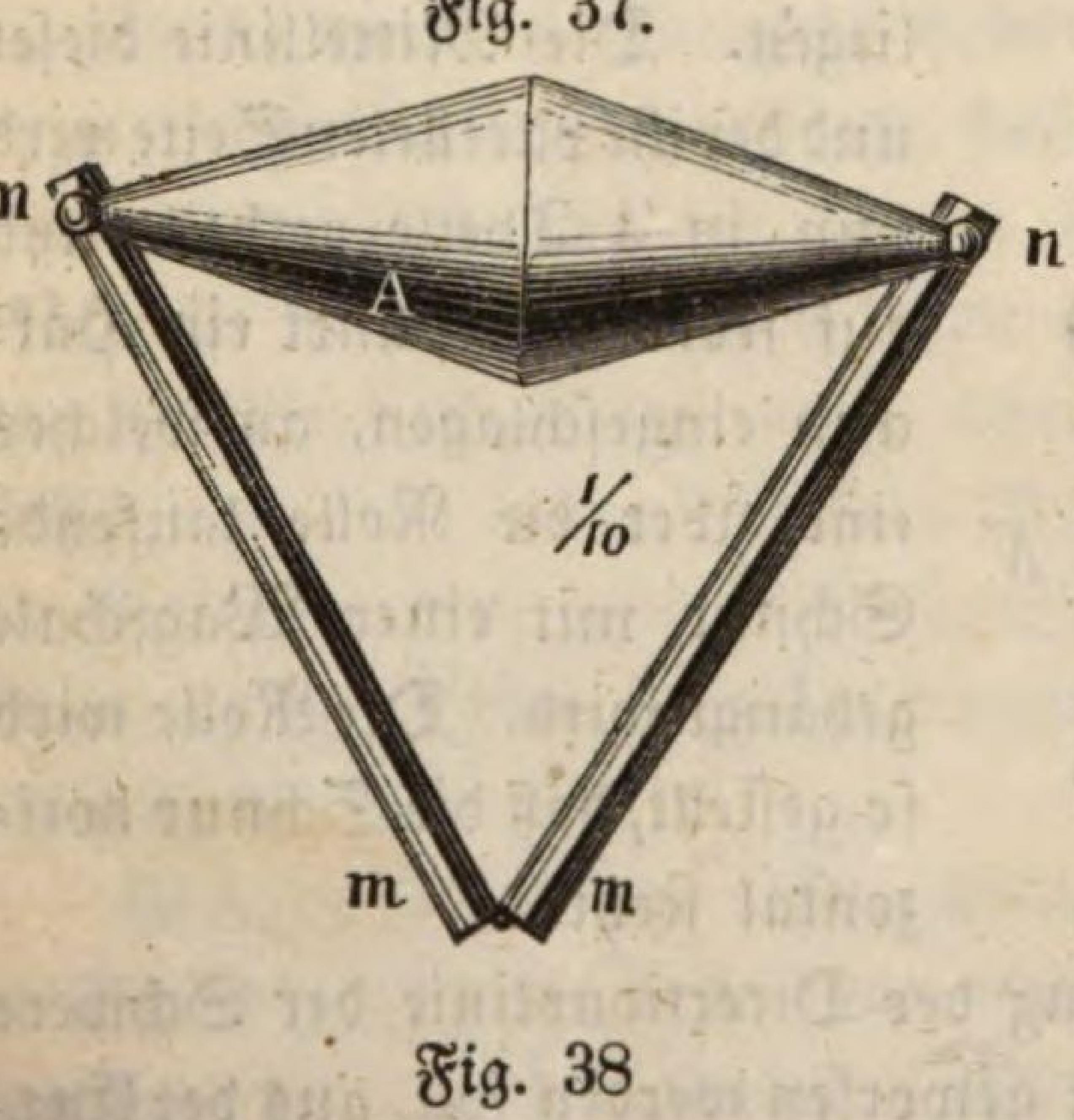
35 Am stabilsten ist das Gleichgewicht aufgehängter Körper. Kann man nun die Masse eines Körpers so vertheilen, daß derselbe aufgehängt ist, ohne daß es so scheint; so entstehen mancherlei Spielereien. Wenn z. B. auf der Spitze der Pyramide *A* Fig. 36 sich ein flach ausgehöhltes Stückchen

Fig. 36.



Metall befindet und man setzt das Stück Holz *B* mit seiner stählernen Spitze darauf, nachdem man es an den gebogenen Draht *M N* gesteckt hat, welcher die beiden Bleigewichte *P P* trägt, so wird das ganze System aufgehängt sein, wenn die Bleikugeln bis unter die Spitze reichen. Das System wird je nach der Größe der Bleikugeln auch noch aufgehängt bleiben, wenn man den Stab *B* mit einer auf der Zehenspitze stehenden Figur aus leichtem Stoffe, wie aus Kork umkleidet, welche den Draht *M N* als Balancirstange in den Händen hält. Eine solche Figur wird in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren, wie immer sie gedreht werden mag.

Fig. 37.



36 **Der Kegel, welcher bergan läuft.** Man läßt sich einen Doppelkegel, Fig. 37, drehen, von 5—10 Zoll Länge, 2—4 Zoll Dicke, der an beiden Spitzen Knöpfe hat. Zu diesem werden zwei Brettchen gerichtet, wie *m n o p* Fig. 38, deren obere Kanten *m n* zugeschärft sind und gegen *o p* eine solche Neigung haben, daß die Axe des Doppelkegels, wenn er

Fig. 38



bei seinen Knöpfen auf den höchsten Theil, bei *n* Fig. 37, gelegt wird, noch etwas tiefer liegt, als wenn man die gemeinschaftliche Basis auf den niedersten Punkt bei *m* auflegt. Beide Brettchen werden bei *m* durch ein Gelenkband verbunden und so auseinandergestellt, daß die Spitzen der Kegel in dem Ausschnitte bei *n* liegen können. Setzt man ihn dann bei *m* auf, so läuft er nach *n* und kommt in dem Ausschnitte zur Ruhe.

Der chinesische Purzelmann. Man kauft denselben bei dem Spiel- 37
waarenhändler. Ist die Stiege aufgesetzt, so krümmt man die Figur zusammen, als wollte man sie mit dem Rücken nach unten gekehrt zugleich auf Hände und Füße stellen, stellt sie aber nur auf die Hände, worauf sie über die Stiege herunter steigen wird. Geht es nicht, so nehme man die Figur auch um keinen Preis, denn die zu ihrer Instandsetzung erforderliche Zeit ist meistens viel zu groß, und sehr oft führt es zu Aenderungen im Quecksilbergehalt, also zur Oeffnung der Figur. Viel sicherer gehen die doppelten Gaukler, sind aber theurer und am Ende weniger unterhaltend.

Elasticität. Die Elasticität des Elfenbeins zeigt man dadurch, das 38
man eine elfenbeinerne Kugel von etwa einem halben Zoll Durchmesser auf eine Marmorplatte fallen läßt. Am besten ist hiezu eine schwarze Platte, die man nur anzuhauchen braucht, um zu zeigen, daß die Kugel je nach der Fallhöhe einen mehr oder weniger breiten Fleck durch ihr Aufschlagen auf der Platte zurück läßt; man sieht diese Flecke besser, wenn man die Tafel etwas schief gegen das Licht hält. Anders gefärbte Platten kann man mit Lampenruß schwärzen. Die Platte wird vor dem Versuche durch Keile horizontal gestellt, damit man nicht jedesmal die Kugel erst wieder auf dem Boden suchen muß. Letzteres ist übrigens doch sehr oft der Fall, da die Elasticität des Elfenbeins und die Härte der Platte nicht überall dieselbe ist; am einfachsten fängt man die aufspringende Kugel sogleich wieder.

Jeder Rest einer marmornen Tisch- oder Ofenplatte dient für diesen Versuch, nachdem er vom Steinhauer quadratisch zugerichtet ist. Am zweckmäßigsten ist es, vom Schreiner eine Zarge von Holz mit vorstehendem Rande um die Platte machen zu lassen, und sie mit Gyps in derselben zu vergießen, Fig. 39. Der Gyps wird mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt und über die Platte von unten gegossen, nachdem diese auf die etwas übergreifenden Ränder der Zarge gelegt ist. Nachdem der Gyps hart geworden, wird er unterhalb geebnet und ein hölzerner Boden auf die Zarge geschraubt, wobei man noch etwas ganz dünnen Gypsbrei vorher aufgießt.

Fig. 39.

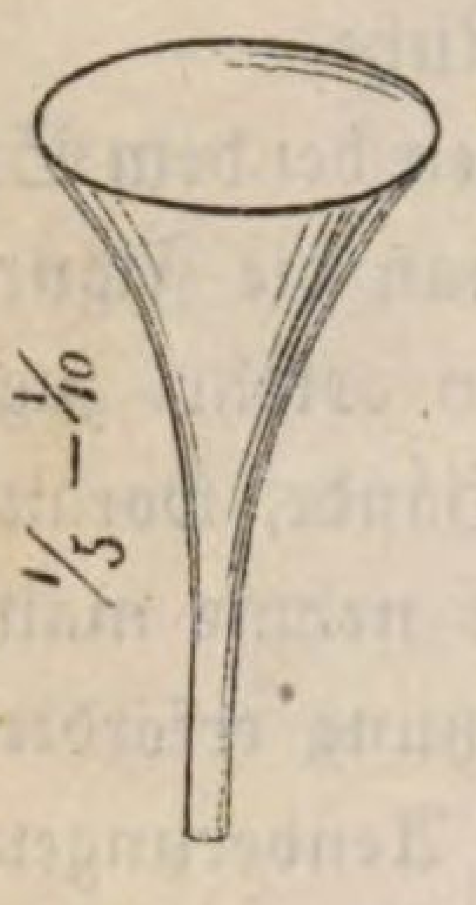


Auf diesen Versuch kann man zurückkommen, nachdem die Fallgesetze

erörtert sind, und aus der Höhe, zu welcher die Kugel wieder aufspringt, auf die Elasticität des Elfenbeins schließen.

39 Die Elasticität des wohlverkühlten Glases zeigt man an den Glastrompeten, Fig. 40, deren dünne vordere Wand sich beim Hineinblasen unter klirrendem Schalle nach Außen biegt, und beim Anziehen der Luft wieder in die frühere Lage zurückgeht. Ein Büschel Glasfaden dient zu gleichem Zwecke, ebenso ein spiralig zerschnittenes Trinkglas, wovon das Nähere unter dem Artikel »Glassprengen«.

Fig. 40.

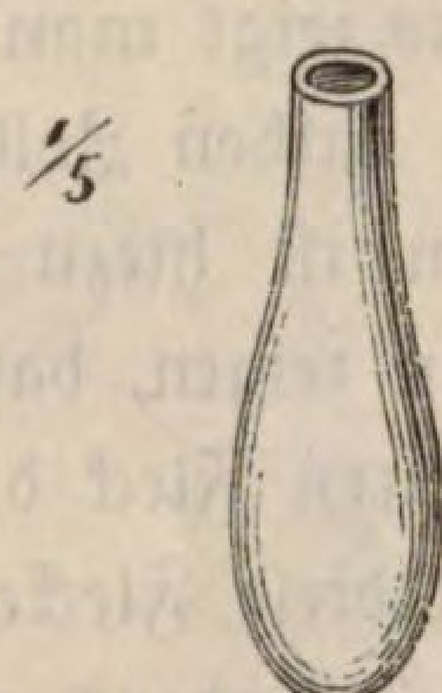


Die Bologneser Fläschchen, Fig. 41, bestehen aus nicht verkühltem Glase und springen, wenn man einen Splitter von einem Feuerstein hinein fallen läßt, oder denselben etwas darin herum rüttelt. Es kommen aber in dem Handel auch solche Fläschchen vor, die zum Herausnehmen von Branntweinproben u. dgl. bestimmt sind, und durchaus die gleiche Form und einen gleich dicken Boden haben; sie sind aber daran kenntlich, daß ihr Hals glatt abgeebnet und etwas ausgelegt ist, wie Fig. 42. Diese wurden verkühlt, oder verlieren doch durch das Aufwärmen des Halses ihre Sprödigkeit, taugen daher zu diesem Versuche gar nicht.

Fig. 42.



Fig. 41.



Den Versuch mit den Glasthränen macht man am besten so, daß man dieselben in ein Papier wickelt und ihnen dann die Spitze etwas wohl hinten abbricht; man hat dann all' den feinen Sand, in welchem sie zerspringen, im Papiere. Beim Zersprengen in der Luft könnte durch die Splitter Jemand beschädigt werden. Hält man dieselben in ein Trinkglas voll Wasser, so wird das Glas durch die vereinigte Gewalt, mit der die Splitter aus einander fahren, meistens zerbrochen.

40 **Behandlung des Stahls.** Stahl ist, wie Glas, je nach der Behandlung ein spröder oder mehr oder weniger elastischer Körper. Soll der Stahl glashart werden, so macht man denselben — wenn es deutscher Stahl ist — hell rothglühend und taucht ihn dann plötzlich in möglichst kaltes Wasser; Gußstahl wird nur bis kirschroth glühend gemacht und ebenso abgekühlt. Es muß dabei die beim Glühen entstandene Schichte von Oxyduloxyd abfallen und der Stahl weiß erscheinen, doch ist dieses nicht immer der Fall und der Stahl ist doch hart, wenn man ihn mit der Feile probirt. Längere Stücke von Stahl werfen sich dabei gern, und können nachher nur durch Schleifen in die gehörige Form gebracht werden. Das sicherste, wenn gleich nicht unfehlbare Mittel, dieses zu verhüten, besteht darin, daß man das Stück rasch eintaucht, während man es seiner größten

Dimension — seiner Länge nach senkrecht hält. Größere, namentlich längere Stücke sind schwer gleichförmig hart zu machen, da man dazu eines sehr ausgebreiteten Feuers bedarf, wenn sie durchweg gleich stark glühend werden sollen. Dicke Stücke bekommen beim Härten gern Risse, springen wohl auch ganz ab. Man begegnet diesem Uebelstande am sichersten durch Eintauchen in Wasser von 45° R., wobei ebenfalls die erforderliche Härte erzielt wird. Größere Stücke Stahl läßt man beim Schmiede härten, oder noch besser beim Feilenhauer, wenn man hiezu Gelegenheit hat.

Glashart — spröde — ist der Stahl selten nöthig, allein es liegt nicht in unserer Gewalt, ihm gleich von Anfang einen beliebigen Grad von Härte und Elasticität zu geben, wohl aber können wir vollkommen gehärteten Stahl in beliebigem Grade wieder erweichen, indem wir seine Oberfläche hell schleifen und ihn dann allmälig erwärmen, wobei er nach und nach seine Farbe in Gelb, Purpur, Blau und Grau ändert; es ist hiebei ebenfalls auf möglichste Gleichförmigkeit der Erwärmung zu sehen. Kleinere, oder überhaupt ihrer ganzen Ausdehnung nach zu erwärmende Stücke dürfen darum nicht mit der Zange gehalten, sondern sie müssen auf einem Bleche erwärmt werden. Werkzeuge aller Art, welche in Metall schneiden sollen, wie Drehstähle, Bohrer rc. läßt man nur hafergelb werden, Instrumente, welche für Holz bestimmt sind, also eine unter einem spitzigen Winkel auslaufende Schneide erhalten müssen, purpurroth, Federn, welche nur sehr wenig Bewegung zu machen haben, blau anlaufen, ganz große Federn selbst grau. Federn, welche viel Bewegung machen sollen, brennt man mit Fett ab, d. h. man bestreicht sie mit Fett und erwärmt sie bis zur Entzündung desselben, worauf sie wie bei jedem anderen Anlaufenlassen in kaltem Wasser abgekühlt werden.

Bohrer, Drehwerkzeuge u. dgl. werden nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach gehärtet, sondern nur bis auf wenige Linien von der Schneide an rückwärts, um das öftere Abbrechen zu verhüten; Instrumente aber, welche ihrer Form nach nicht nachgeschliffen werden können, härtet man nur ganz vorn. Solche Instrumente sind dann hinter dem abgekühlten Ende noch rothwarm und man läßt diese Wärme sich über das abgekühlte Ende verbreiten, bis dieses die erforderliche Farbe erhalten hat, worauf man erst das ganze Instrument abkühlt.

Gelegenheitlich sei hier bemerkt, daß der Gußstahl seine Zähigkeit verliert, wenn er über kirschroth erwärmt wird, wenigstens darf dieses nicht öfter wiederholt werden. Drehwerkzeuge, Meißel, Bohrer und andere ähnliche Geräthe von einfacher Form kann man sich sehr leicht und selbst billig herstellen. Man bekommt nämlich im Handel Gußstahl von beinahe jedem beliebigen Querschnitte. Man läßt sich die erforderliche Länge abhauen, schmiedet das eine Ende zum Einstecken in das Heft etwas pyra-

midenförmig und formt das andere Ende mit der Feile, wie man es braucht, worauf es auf die schon angegebene Weise gehärtet wird.

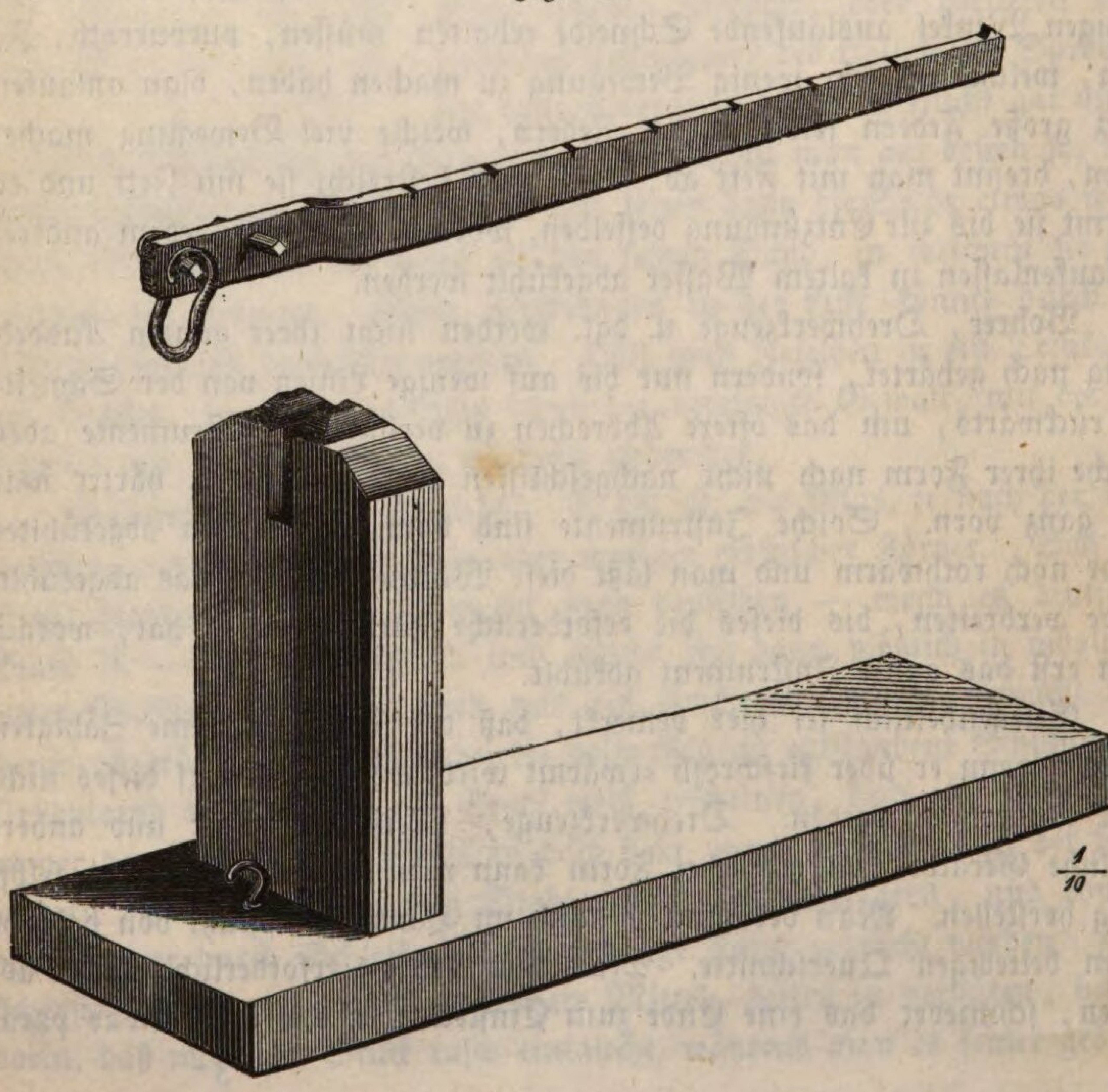
Stahl, besonders aber Eisen, soll auch manchmal sehr weich gemacht werden. Man glüht es zu dem Ende und läßt es unter Kohlenbedeckung langsam erkalten. Eisen wird, wenn man es sehr weich haben will, mit Lehm dünn umgeben und dann geglüht.

Messing und Kupfer werden nur durch Hämmern hart; Drähte hieraus, welche hart werden sollen, läßt man einigemal durch das Zieheisen gehen, wozu gewöhnlich jeder chirurgische Instrumentenmacher und jeder Gürtler eingerichtet ist. Weich werden diese Metalle durch Ausglühen, löscht man sie schnell ab, so werden sie eher noch weicher und verlieren zugleich den Glühspahn.

41 **Die Torsionselasticität** harter Drähte zeigt man ganz einfach so, daß man ein 2 — 3 Fuß langes Stück davon fest an ein Gewicht von einigen Pfunden bindet und dann mit dem anderen Ende in einen Feilkloben faßt und das Ganze an dem Feilkloben aufhängt. Bringt man das Gewicht durch Drehung aus der Ruhelage, so kehrt es nur nach längeren Oscillationen in dieselbe zurück.

42 **Cohäsion.** Versuche über die Cohäsion werden wohl nur selten

Fig. 43.



beim Unterrichte vorgenommen, weil sie sehr zeitraubend sind, und ohne zahlreiche Wiederholungen doch zu keinem Resultate führen können, das

Fig. 44.



Fig. 45.



Factum der Cohäsion an sich aber durch keinen besonderen Versuch erläutert zu werden braucht. Man könnte sich zwar ohne bedeutende Kosten auf starker hölzerner Grundlage eine Hebelvorrichtung, etwa wie Fig. 43 (a. v. S.) anfertigen lassen, um mittelst eines Läufers von etwa 50 Pfund hölzerne Parallelepipede zu zerreißen. Letztere würden, wie Fig. 44 in etwas größerem Maaßstabe zeigt, gefertigt und an den beiden Endstücken noch mit stärkerem Holze fournirt. Die Entfernung der beiden Löcher muß so sein, daß, nachdem das Holz mittelst zweier Ringe mit Bolzen wie Fig. 45 zwischen der Grundplatte und dem Hebel befestigt ist, letzterer horizontal steht.

Die Adhäsion wird gezeigt, 1) mittelst abgeschliffener 43
Platten aus Glas oder Metall, 2) mittelst zusammengepreßter Bleistücke, 3) durch die Muschenbroek'schen Cohäsionsplatten, 4) durch Glas- und andere Platten auf Quecksilber und Wasser, 5) mit dem schottischen Dreher.

ad 1) Glasplatten werden vom Glaser aus nicht zu dickem Spiegelglase rund geschnitten, dann auf einem gewöhnlichen Schleifsteine der Rand vollends abgerundet und mittelst Siegellack hölzerne Handgriffe darauf gekittet. Sie müssen, wie allemal, wenn man mit Siegellack kittet, so warm gemacht werden, daß das Siegellack von selbst darauf zerfließt. Man wird leicht zwei solche Spiegelstücke finden, die ziemlich gut an einander haften, was man natürlich versucht, bevor man sie in Arbeit nimmt. Metallene Platten müssen, nachdem sie vorher möglichst eben abgedreht wurden, vollends eben geschliffen werden. Es geschieht dieses zuerst mit jeder einzelnen auf einer wohl abgerichteten Eisenplatte, oder einem Stücke Spiegelglas mit Sand und Wasser, zuletzt mit feinem Smirgel. Auf einander selbst schleift man sie mit gepulvertem Bimsstein und Oel. Solche Platten erfordern vielen Fleiß, denn auch die gekauften sind sehr oft, trotz der hohen Preise, fehlerhaft.

ad 2) Zwei Bleicylinder von etwa $1/2$ Zoll Durchmesser und Länge werden zuerst mit der Feile und dann mit dem Federmesser wohl geebnet und im Schraubstocke auf einander gepreßt; sie halten gewöhnlich so fest, daß man sie nur schwer wieder trennen kann.

ad 3) Die Muschenbroek'schen Adhäsionsplatten werden behandelt wie jene unter Nro. 1; um sie auf einander zu befestigen, werden sie etwas erwärmt und mit Talg bestrichen, sodann bis zum Erkalten in einen

Schraubstock stark eingespannt; sie haben zu diesem Zwecke in einem Knopf eingehängte Ringe, und tragen bis 50 Pfund (Fig. 46).

Fig. 46.

$\frac{1}{3}$-$\frac{1}{5}$

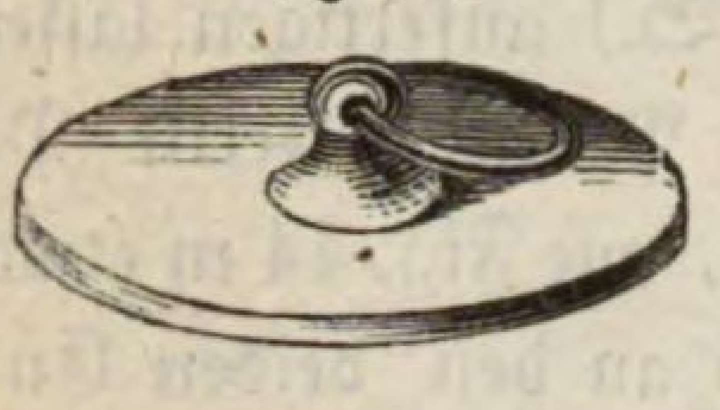
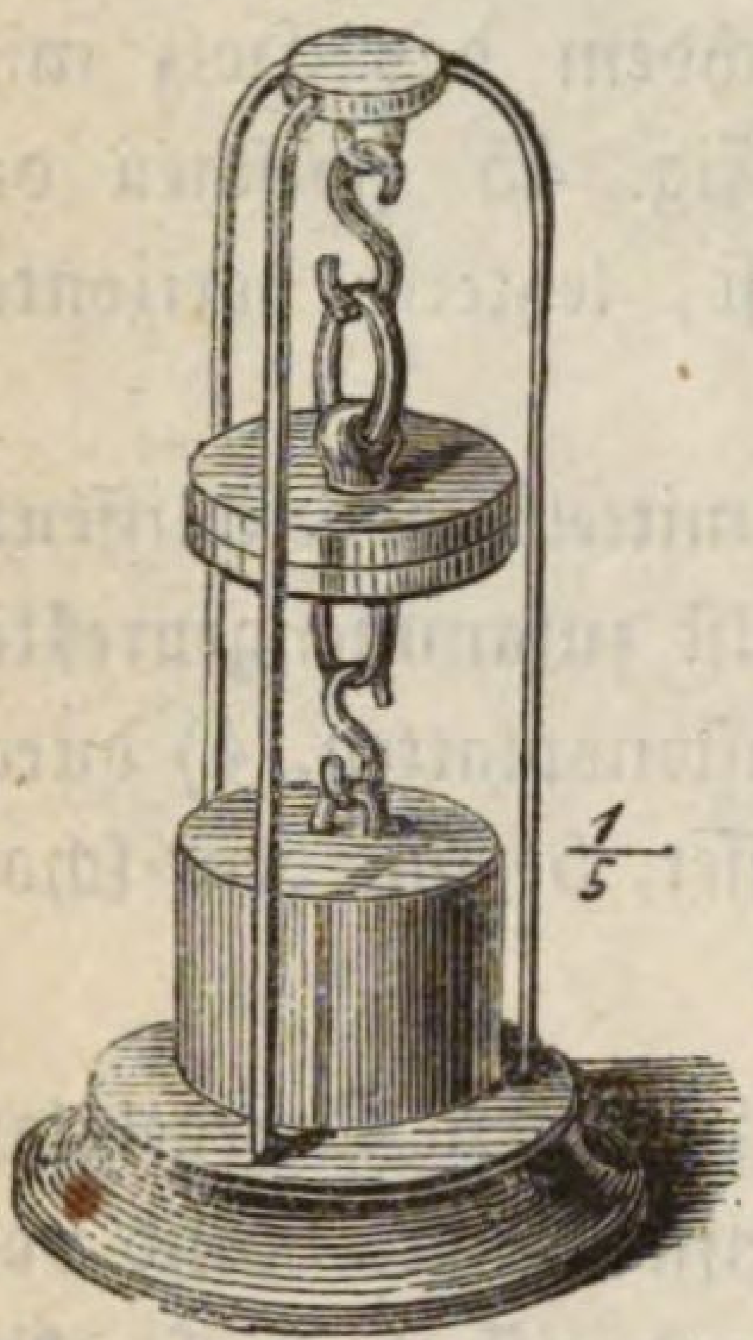


Fig. 47.



$\frac{1}{5}$

Mit beiden Arten von Adhäsionsplatten kann auch der Versuch unter dem Recipienten der Luftpumpe angestellt werden, um zu zeigen, daß sie nicht durch den Druck der Luft zusammengehalten werden. Doch ist hierzu eine Vorrichtung, wie Fig. 47 zeigt, nöthig. Diese besteht aus einem (wenn etwa die Schraube auf der Mitte des Tellers der Luftpumpe hervorragen sollte, in der Mitte durchbohrten) Brettchen, worauf drei Messingstäbe stehen, welche den Haken zum Aufhängen der Platten tragen; es ist dieses sowohl zur Schonung des Tellers bei etwaigem Abreißen, als zur Bequemlichkeit nöthig. Die Größe richtet sich natürlich nach der Größe der Platten, die man hierfür immer etwas kleiner nimmt. Das Gewicht darf jedenfalls nicht hoch über dem Brettchen hängen.

ad 4) Dieser Versuch wird am einfachsten folgendermaßen vorbereitet. Auf eine runde Glas- oder Messingscheibe kittet man ein fingerlanges Stück Siegellack und an dasselbe eine Schnur. Man hängt sodann an die gemeine Wage einerseits statt der Wagschale diese Schnur mit der Platte und knüpft sie so, daß die Platte gerade auf eine untergesetzte Tasse mit Wasser reicht. Das Siegellack wird nun durch langsames Erwärmen durch und durch schwach erweicht und die Platte auf das Wasser gesetzt, während in die Wagschale der anderen Seite ein kleines Gewicht kommt. Die Adhäsion hält die Platte und das Gewicht zieht das Siegellack so, daß es senkrecht zur Ebene der Platte wird. Daß man dabei die Tasse so rücken muß, daß die Platte nirgends an dem Rande derselben anstößt, sondern frei auf dem Wasser liegt, versteht sich wohl von selbst. Da sich das Siegellack dabei etwas streckt, so macht man nachher an die Schnur einen oder mehrere Knoten, bis die Wage beim Aufliegen der Platte wieder horizontal steht.

Bei dem Versuche selbst wird die freihängende Platte zuerst mit Schrotkörnern an der Wage in's Gleichgewicht gebracht, bevor man die Tasse mit Quecksilber oder Wasser untersetzt. Durch allmälig aufgelegte Gewichte bringt man dann die auf die Flüssigkeit aufgesetzte Platte zum Abreißen. Die Platten müssen dabei sorgfältig gereinigt werden, was man am besten durch Abwaschen mit Weingeist erreicht; auch muß na-

mentlich die Oberfläche des Quecksilbers rein von Staub sein. Man filtrirt es zu dem Zwecke durch einen nach Art der Pfefferdüten gedrehten Trichter aus Schreibpapier, der in einen Glastrichter gesetzt wird, in die Tasse. Diesen Papiertrichter schneidet man unten mit einer Scheere so weit ab, daß das Quecksilber nur in einem feinen Strahle durchläuft. Auch der obere Rand wird abgeschnitten und nach innen umgedrückt, damit der Trichter nicht aufgehen kann. Die Glasplatte wird mit dem Rande zuerst aufgesetzt, und dann allmälig gelegt, damit alle Luftblasen entweichen können und das Quecksilber einen klaren Spiegel unter ihr bildet. Bei Wasser sind mit Ausnahme des Filtrirens dieselben Vorsichten nöthig.

ad 5) Der schottische Dreher besteht aus einer leichten auf ein Converglas oder auf ein Uhrglas gekitteten Figur. Man setzt das Glas auf eine Glasplatte oder einen Porcellanteller, indem man zwischen Glas und Teller einen Tropfen Wasser bringt; neigt man den Teller ein wenig, so dreht sich das Glas mit der Figur ein halbes Mal herum und man kann durch abwechselndes Neigen des Tellers nach allen Seiten des Horizontes, aber immer in derselben Richtung, das Glas mit der Figur zum anhaltenden und ziemlich schnellen Drehen bringen. Man muß aber diesen Versuch vorher eigens einüben, weil es anfänglich nicht gleich geht. Leider verliert man die einmal erlangte Uebung immer wieder, bis der Versuch nach Jahresumlauf abermals vorkommt, darum wird er gewöhnlich mit Recht übergangen.

Da man sehr oft in den Fall kommt, volle Gefäße auszugießen, so mag hier erwähnt werden, daß man das Anziehen der Flüssigkeit an dem Gefäße am wirksamsten verhindert, wenn man zuerst einen Glasstab mit der Flüssigkeit benetzt und ihn dann in vertikaler Richtung an jenen Theil des Randes vom Gefäße hält, über welchem man ausgießen will; die Flüssigkeit folgt dem Stabe.

B. Versuche über die tropfbarflüssigen Körper.

Gleichförmige Fortpflanzung des Druckes. Das Grundgesetz der 44
Hydrostatik, das Gesetz der gleichförmigen Fortpflanzung des Druckes läßt sich durch folgenden Apparat sehr gut nachweisen. Er ist um so bequemer, als er zugleich die Anwendung dieses Gesetzes in der Brama'schen Presse zeigt und ein kostbares Modell einer solchen erspart. Er ist in Fig. 48—49 (a. f. S.) im Grundrisse und im Durchschnitt zu $1/5$ der wirklichen Größe gezeichnet.

Auf den Tischchen *M N* ist die Eisenplatte *a a* eingelassen und auf dieser befinden sich die beiden Cylinder *A*, *B* aus Kanonenmetall, wovon

A einen genau 6mal so großen Durchmesser hat als *B*; sie sind durch das mit einem Hahne *D* versehene Rohr *C* verbunden. In beiden sind metallene Kolben, wovon der größere hohl und oben offen ist, diese Kol-

Fig. 48.

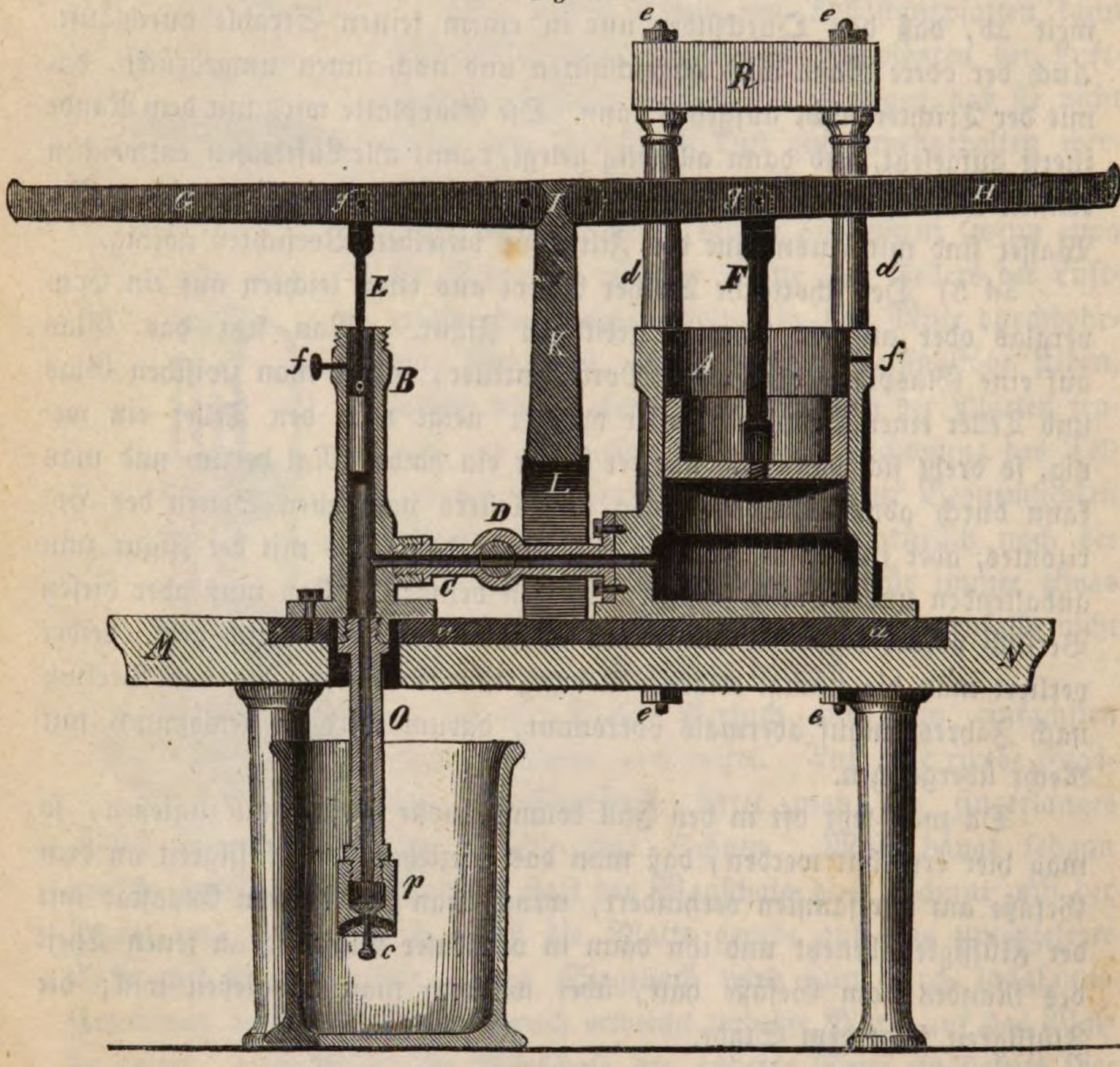
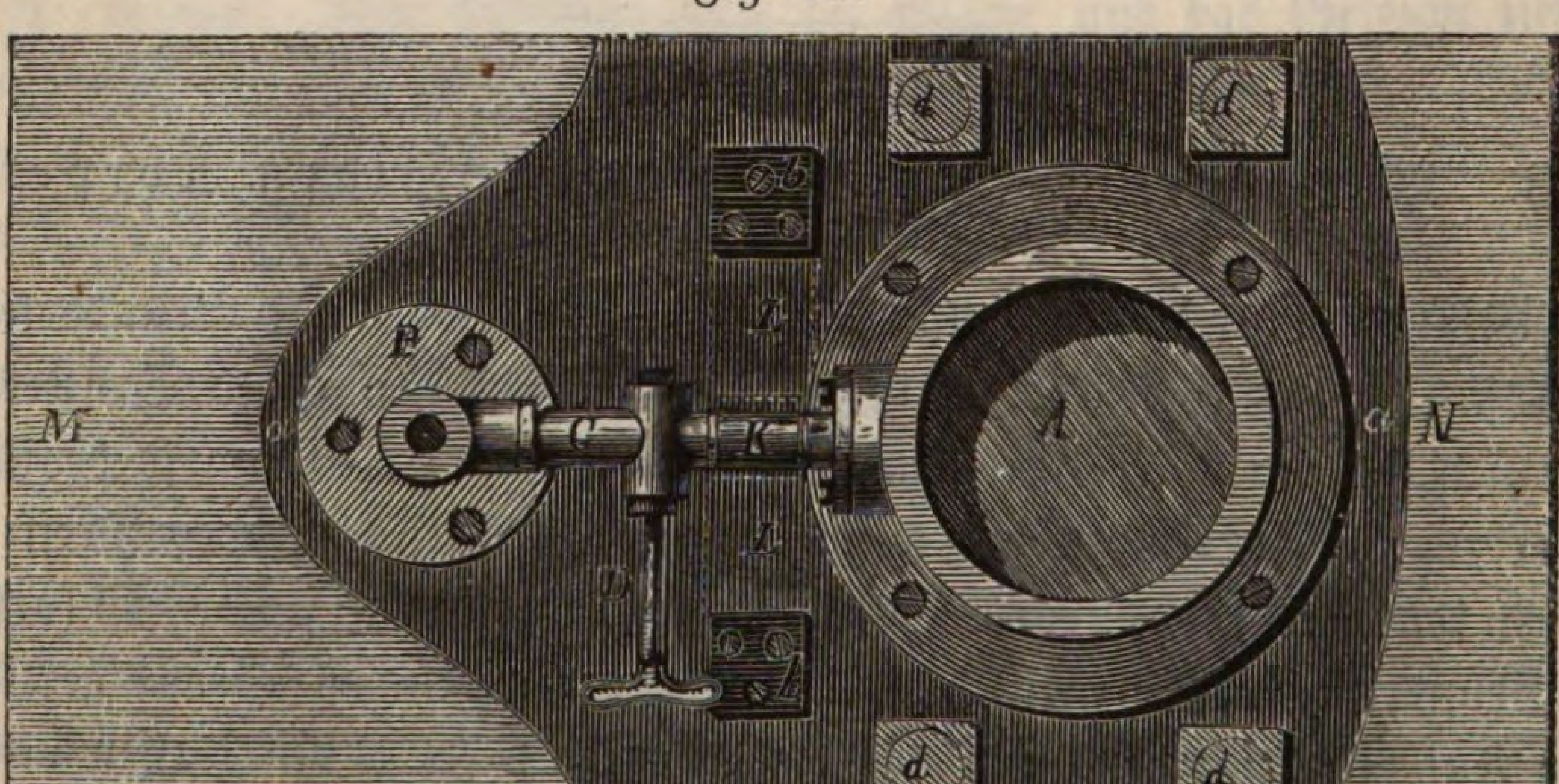


Fig. 49.



ben sind so eingeschliffen, daß der größere, wenn man ihn in Drehung versetzt, frei in dem Cylinder einigemal umläuft und doch luftdicht schließt, sie erhalten auch kein Fett, es müssen aber die Cylinder und Kolben vor dem jedesmaligen Gebrauch mit reiner Leinwand ausgewischt werden, um allen Staub zu entfernen. Die Kolben stehen durch die Gelenkstangen *E, F* mit den Hebeln *G, H* in Verbindung; diese Hebel sind beide ganz gleich und an dem Querstück *I* eingelenkt, welches von der eisernen Säule *K* getragen wird, die ihrerseits auf dem halbkreisförmig über die Röhre *C* weggehenden eisernen Bogen *L* ruht; letzterer ist durch die beiden Lappen *b, b* auf die Grundplatte befestigt. Alle Gelenke sind genau eingepaßt und eingeschmirgelt, so daß sie eine leichte und doch sichere Bewegung haben. An den kleinen Cylinder *B* ist unterhalb das Saugrohr *O* mit dem Ventilstück *p* angeschraubt, das Ventil kann von Außen durch den Leitstift *c* von Hand gehoben werden. Auf der Grundplatte stehen ferner die vier Säulen *d, d, d, d*, welche die Querplatte *R* tragen; sie können wie die Platte *R* von Holz sein; in diesem Falle werden sie durchbohrt und ein Eisenstab durchgesteckt, welche mittelst der Schraubenmuttern *e, e, e*.... die Platte *R* gegen die Grundplatte hält.

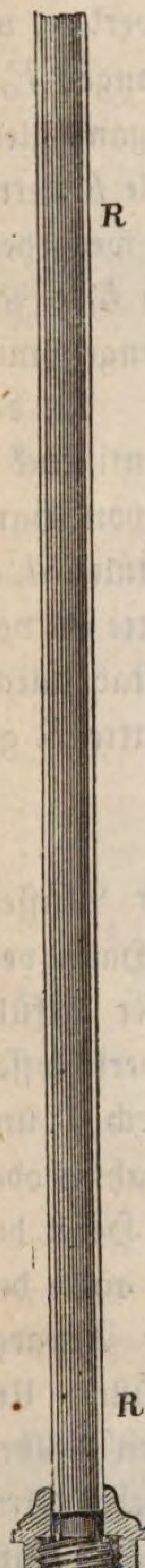
Beim Gebrauche wird unter das Tischchen ein passendes Wassergefäß gesetzt, die Kolben entfernt und die Cylinder durch den Hahn verbunden und bis an die kleinen Oeffnungen *f f* mit Wasser gefüllt (*f* kann am kleinen Cylinder durch einen eisernen Zapfen verschlossen werden). Beim Aufsetzen der Kolben entweicht die Luft durch *f* und man hebt nun, nachdem die Hebel eingesetzt sind, mittelst eines Drahtes oder der Hand das Ventil so weit, um Wasser auszulassen, bis beide Hebel horizontal stehen. Man kann die Füllung auch so machen, daß man den großen Kolben bis über die Oeffnung *f* hebt, wodurch sich der Apparat zum großen Theile mit Wasser aus dem untergesetzten Gefäße füllt. Um vollends alle Luft zu entfernen, pumpt man nun mit dem kleinen Kolben soviel Wasser nach, bis dieses sich bei *f* zeigt, worauf man die Hebel durch Oeffnen des Ventils horizontal macht. Ein für allemal wird die Tara eines jeden Hebels sammt Kolben durch Aufhängen in den Punkten *g g* an einer gewöhnlichen Wage bestimmt, und berechnet, wieviel Gewicht am Hebel des großen Kolbens zugelegt werden muß, um dem Druck des kleinen Kolbens für sich allein zu widerstehen. Dieser Tara wird gleich für jeden Hebel ein Haken, wie Fig. 50, nebst einer kleinen Wagschale beigeschlagen. Hat man auf diese Weise das Gleichgewicht hergestellt, so wird jede Zulage von Gewicht am kleinen Kolben für den großen Kolben das 36fache erfordern, da beide Hebel gleiches Verhältniß haben. Man kann auf diese

Fig. 50.



Weise demnach sehr gut die gleichförmige Fortpflanzung des Druckes durch Gewichte nachweisen.

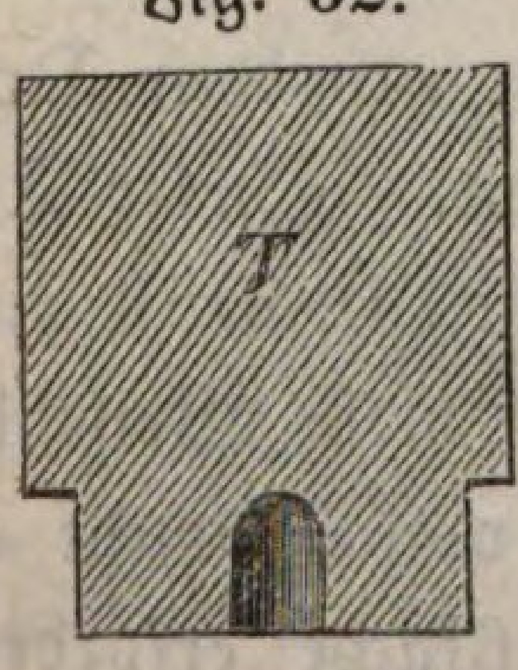
Fig. 51.



Schließt man nun den Hahn *D* und entfernt den kleinen Kolben sammt Hebel, schließt auch die Oeffnung *f* des Cylinders *B* und schraubt die Glasröhre *R R*, Fig. 51, mit der messingenen Fassung *S* auf den kleinen Cylinder, so kann man diese bis auf eine beliebige Höhe über der Wasserfläche des großen Cylinders ebenfalls mit Wasser füllen; diese Höhen sind von 1 — 3 Fuß auf der Röhre verzeichnet. Berechnet man nun das Gewicht einer gleich hohen Wassersäule von dem Durchmesser des Cylinders *A* und zieht die Tara ab, so weiß man, wieviel Gewicht nach dem Hebelverhältniß noch beizulegen ist, um so dem eigenen Gewichte des Wassers in der engen Röhre das Gleichgewicht zu halten, wenn der Hahn *D* wieder geöffnet wird. Alle diese Rechnungen sind leicht, da der Durchmesser des kleinen Kolbens genau 0,5 und der des großen 3 Zoll beträgt.

Schließt man *D* abermals und läßt das Wasser durch Hebung des Ventils *c* bis unter *f* aus dem kleinen Cylinder auslaufen, setzt Kolben und Hebel wieder ein, und entfernt dafür den Hebel *H* und die Stange *F*, so kann man auf den Kolben des großen Cylinders den gut auf Boden und Rand des Kolbens aufsitzenden Zapfen *T*, Fig. 52, aus Weißbuchenholz aufsetzen, und zwischen diesen und das Stück *R* irgend einen zu pressenden Körper bringen. Handhabt man nun den Hahn *D* und den Hebel *G* gehörig, so kann man mehr Wasser in den großen Cylinder pumpen, und dadurch sogleich die Anwendung des Gesetzes der gleichförmigen Fortpflanzung des Druckes auf die hydraulische Presse zeigen. Man kann mit einem solchen Modelle leicht, ohne es zu beschädigen, einen Druck von einigen Centnern ausüben; es würde wohl vermöge der Metallstärke auch 100 Centner aushalten, allein es entstehen dabei leichte Verbiegungen der eisernen Grundplatte, welche so auf den weiten Cylinder zurückwirken, daß der Kolben desselben seine leichte Beweglichkeit verliert. Für die Demonstration ist es aber auch ganz gleichgültig, wie groß der wirklich ausgeübte Druck sei, nur sein Verhältniß zu dem Drucke in *B* ist wichtig; daher wird es gut sein, sobald der Kolben *A* wirklich drückt, die Hand am Hebel *G* durch ein entsprechendes Gewicht zu ersetzen.

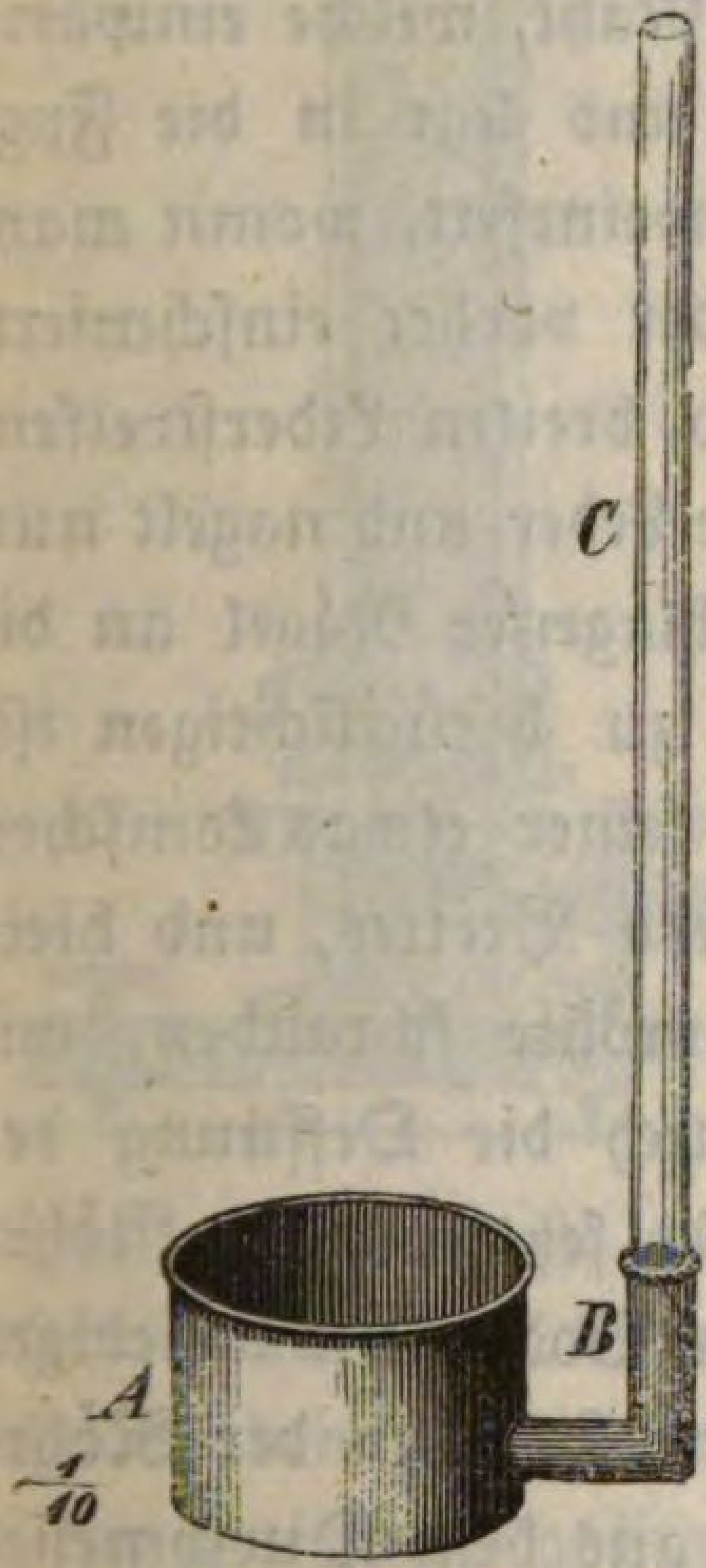
Fig. 52.



Die Entleerung nach dem Versuche geschieht einfach durch das Ventil *c**).

Der anatomische Heber. Man läßt vom Blechner ein zweischenkliges Gefäß *A B*, Fig. 53, von Blech anfertigen, dessen weiterer Schenkel einen etwas starken Rand hat. In den engern kittet man eine Glasröhre von beliebiger Länge; den weitern überbindet man mit einer frischen Thierblase, nachdem er vorher eben voll Wasser gemacht wurde. Man entfernt durch allmäliges Auflegen der Blase alle Luft zwischen ihr und dem Wasser; sollte sie nun auch etwas eingesunken sein, so gießt man, nachdem einige Umwicklungen mit einer Schnur gemacht sind, in den engern Schenkel so viel Wasser, daß die Blase wieder gehoben wird, und zieht dieselbe unter den ersten paar Gängen der Schnur straff an, bevor man sie vollständig festbindet. Füllt man nun Wasser in die enge Röhre, so wird durch dessen Druck die Blase ausgedehnt und aufgetrieben, so daß man den Verlauf der sich kreuzenden Muskelfasern, wie eben an jeder straff aufgetriebenen Blase, deutlich sehen kann. Legt man ein Brettchen auf die Blase, so kann man auf dieses ein der Weite der Röhre *A* und der Höhe des Wassers in *B* entsprechendes Gewicht legen. Sticht man die Blase mit einer Nadel an, so springt das Wasser hervor, jedoch erhält man keine Sprunghöhe, die im gehörigen Verhältnisse zur Druckhöhe steht, da die Oeffnung zu klein ist. 45

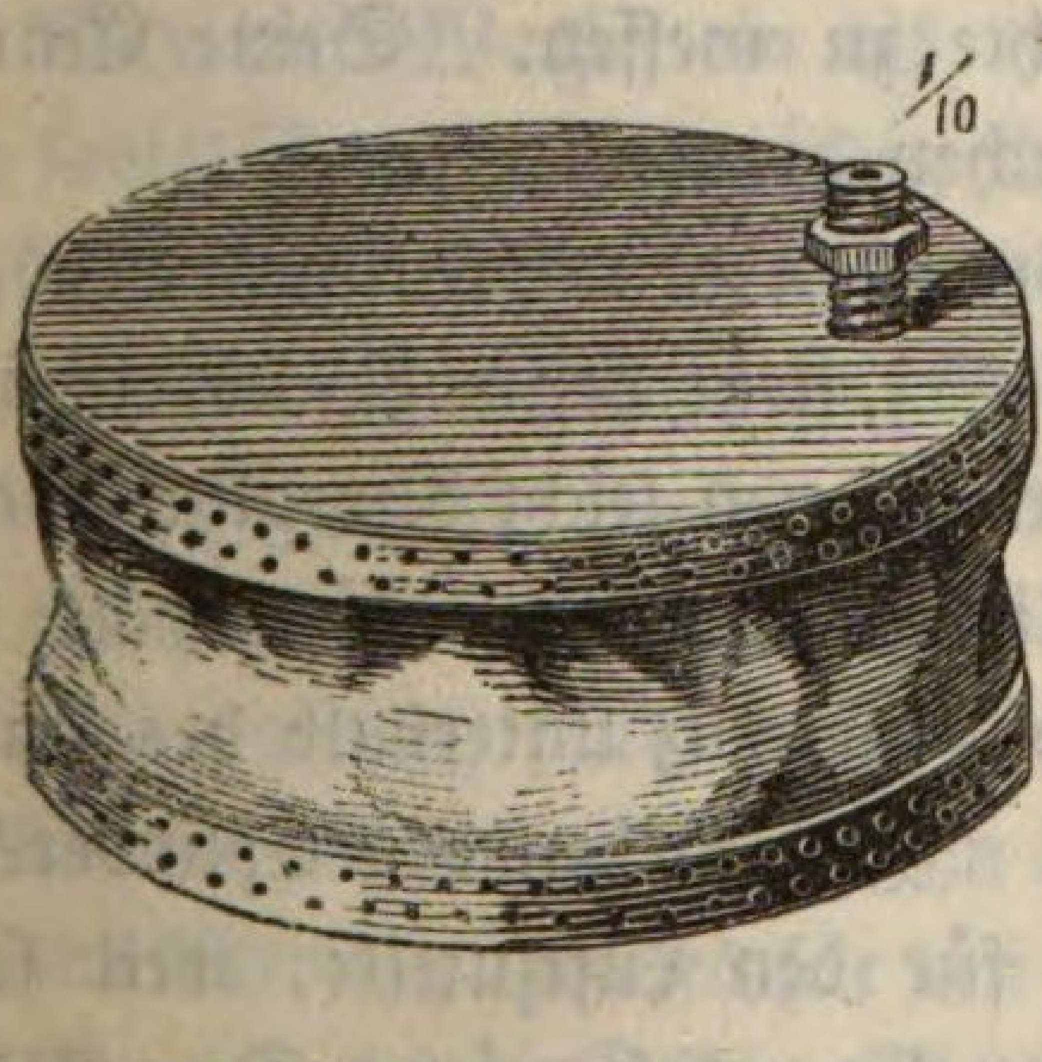
Fig. 53.



Für die Anwendung von Gewichten ist aber

der hydrostatische Blasebalg viel geeigneter und kann ebenfalls leicht angefertigt werden. Man läßt zwei Bretter aus hartem Holze kreisrund zuschneiden und einen etwa 5 Zoll breiten Streifen aus gutem Rindsleder so zusammennähen, daß er um die beiden Bretter als Grundflächen einen Cylinder bildet, Fig. 54. Das eine Brett wird nahe am Rande mit einem konischen 46

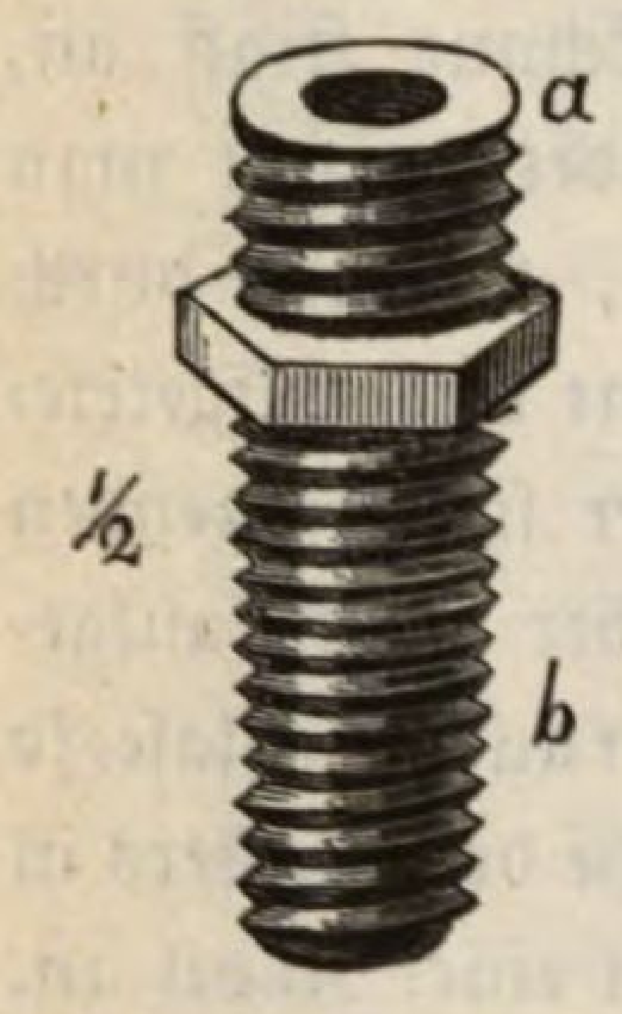
Fig. 54.



*) Einen solchen Apparat verfertigt Universitäts-Mechanikus Link dahier um den Preis von circa 50 Fl. sehr schön, während ein Modell einer hydrostatischen Presse allein, selbst bei dürftiger Ausstattung, nicht unter 40 Fl. zu haben ist und bis 200 Fl. kostet; dann kann es erst nicht zu allseitiger Demonstration des Gesetzes gebraucht werden.

Loche versehen, wozu die Küfer eigene Bohrer haben, um in dieses später eine messingene Schraube (Fig. 55 im größern Maaßstabe) einschrauben zu können. Das Holz wird zuerst mit fetter Oelfarbe angestrichen, dann das knapp passende Leder darüber gestreift und vorläufig durch ein paar Stifte befestigt. An der Stelle der Naht, welche einwärts gerichtet wird, schneidet man das Holz etwas aus und legt in die Fuge eine Mischung aus gleichen Theilen Wachs und Schweinefett, womit man, aber im warmen flüssigen Zustande, auch das Leder vorher einschmiert. Man nimmt nun einen hinreichend langen und so breiten Lederstreifen, als die Bretter dick sind, legt ihn auf das eigentliche Leder und nagelt nun beide Lederstücke durch eine doppelte Reihe dicht geschlagener Nägel an die Bretter, wo besonders die Stelle der Naht wohl zu berücksichtigen ist. Später schraubt man das Messingstück Fig. 55 mit seiner etwas konischen Schraube *b* in das Loch des obern Brettes, und hierauf kann man bei *a* eine Glasröhre schrauben, wie *R S* in Fig. 51. Man füllt durch die Oeffnung der Schraube den Blasbalg mit Wasser, setzt dann die Röhre bei *a* auf und legt auf den obern Boden ein beliebiges bekanntes Gewicht. Das Wasser steigt in der Röhre und aus seinem Steigen, sowie aus dem Durchmesser des Bodens kann man die Größe des Gewichts, als Gegenprobe ebenfalls berechnen. Es muß nämlich das aufgelegte Gewicht gleich sein dem Gewichte einer Wassersäule von dem Durchmesser des Bodens und der Höhe, um welche das Wasser in der Röhre gestiegen ist.

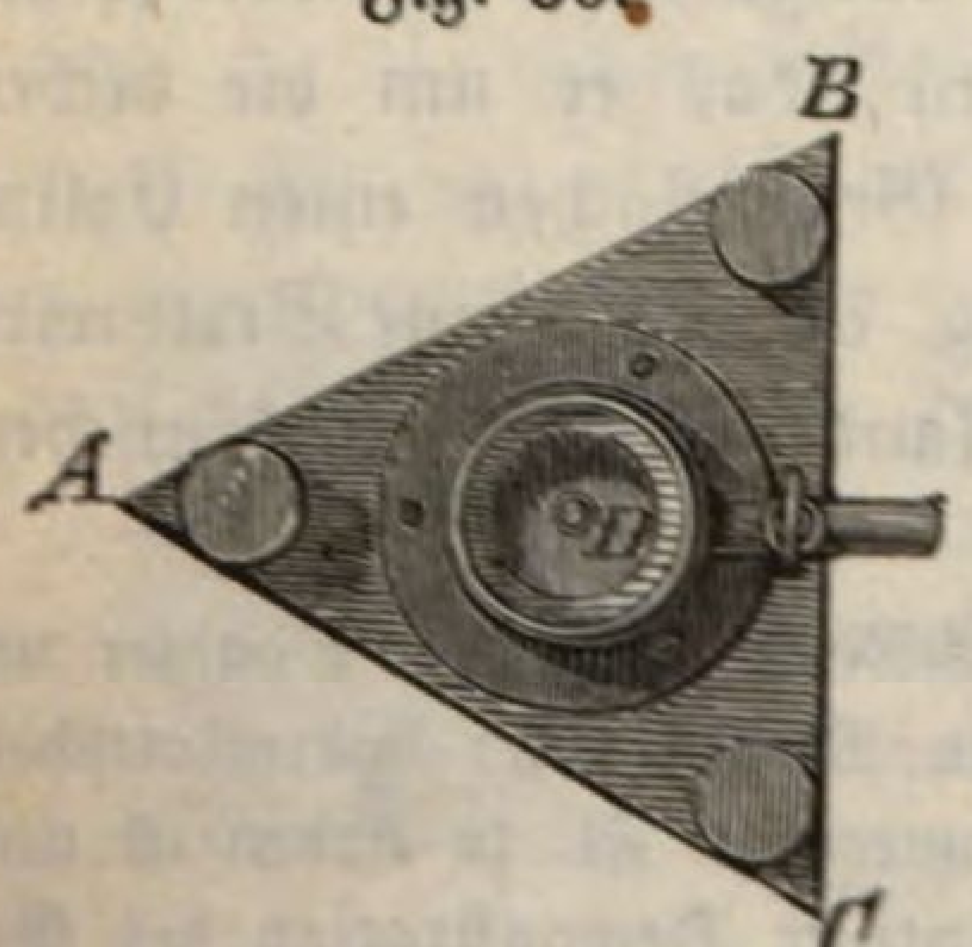
Fig. 55.



47 **Druck auf den Boden.** Außer dem Haldat'schen Apparat dürfte auch der Apparat von Paskal hiefür sehr empfehlenswerth sein, weil er geeignet ist, den Druck direct durch Gewichte zu messen. Seine Einrichtung wird auf folgende Weise zu den Versuchen bequem.

ABC, Fig. 56, ist ein dreieckiges Brettchen mit Stellschrauben, auf welchem der metallene Cylinder *D*, Fig. 57 (a. f. S.), steht, der wohl ausgeschliffen ist und einen metallenen leicht beweglichen, aber wasserdicht schließenden Kolben *E* enthält, von solcher Dicke, daß er ganz unterhalb des Hahns *F* Platz findet. Im Boden des Cylinders ist eine Oeffnung für den Luftzutritt, weil sonst der Kolben nicht beweglich wäre. Der Kolben hat eine Hafte, um ihn mittelst eines Drahtes an der einen Seite der gewöhnlichen Wage anzuhängen, während der Apparat auf dem Experimentir-Tische steht. Auf den Cy-

Fig. 56.



linder D können mittelst der messingenen Fassungen g, g, g die gläsernen Gefäße HH, Fig. 57, 58 und 59, von beliebig verschiedener Form, aber

Fig. 57.

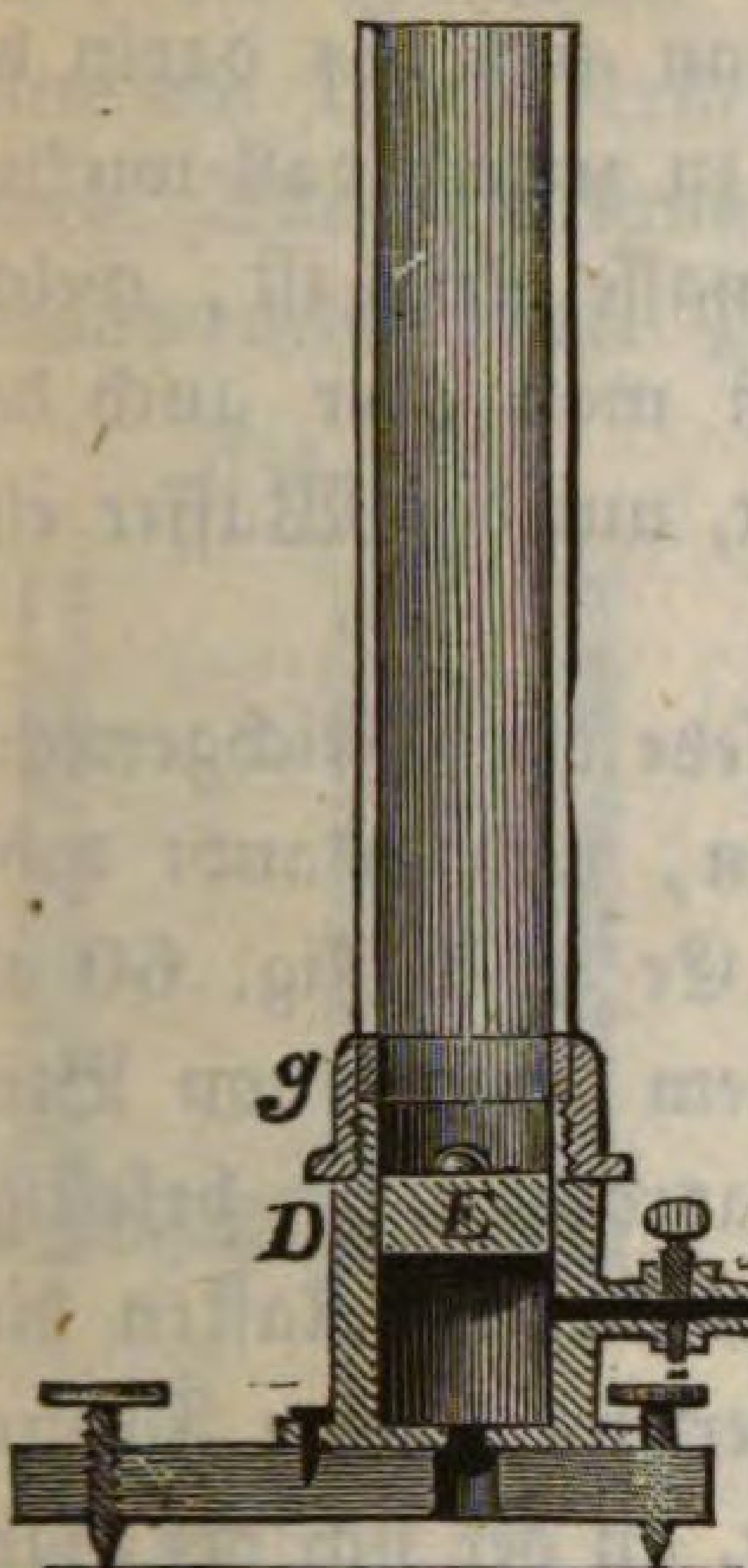


Fig. 58.

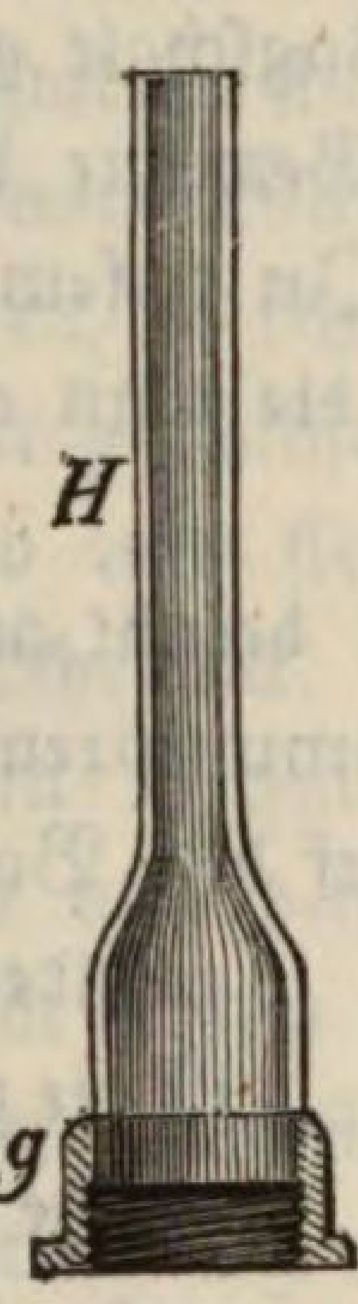
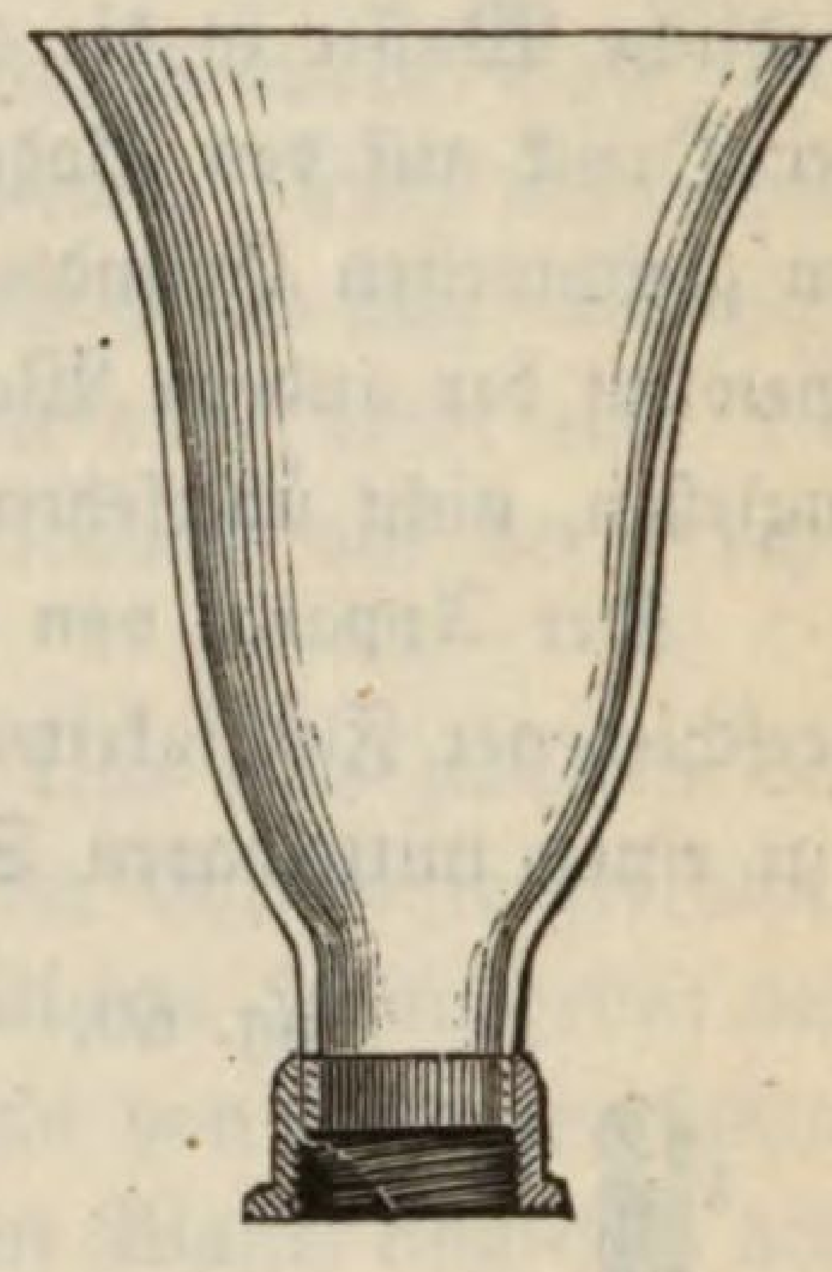


Fig. 59.



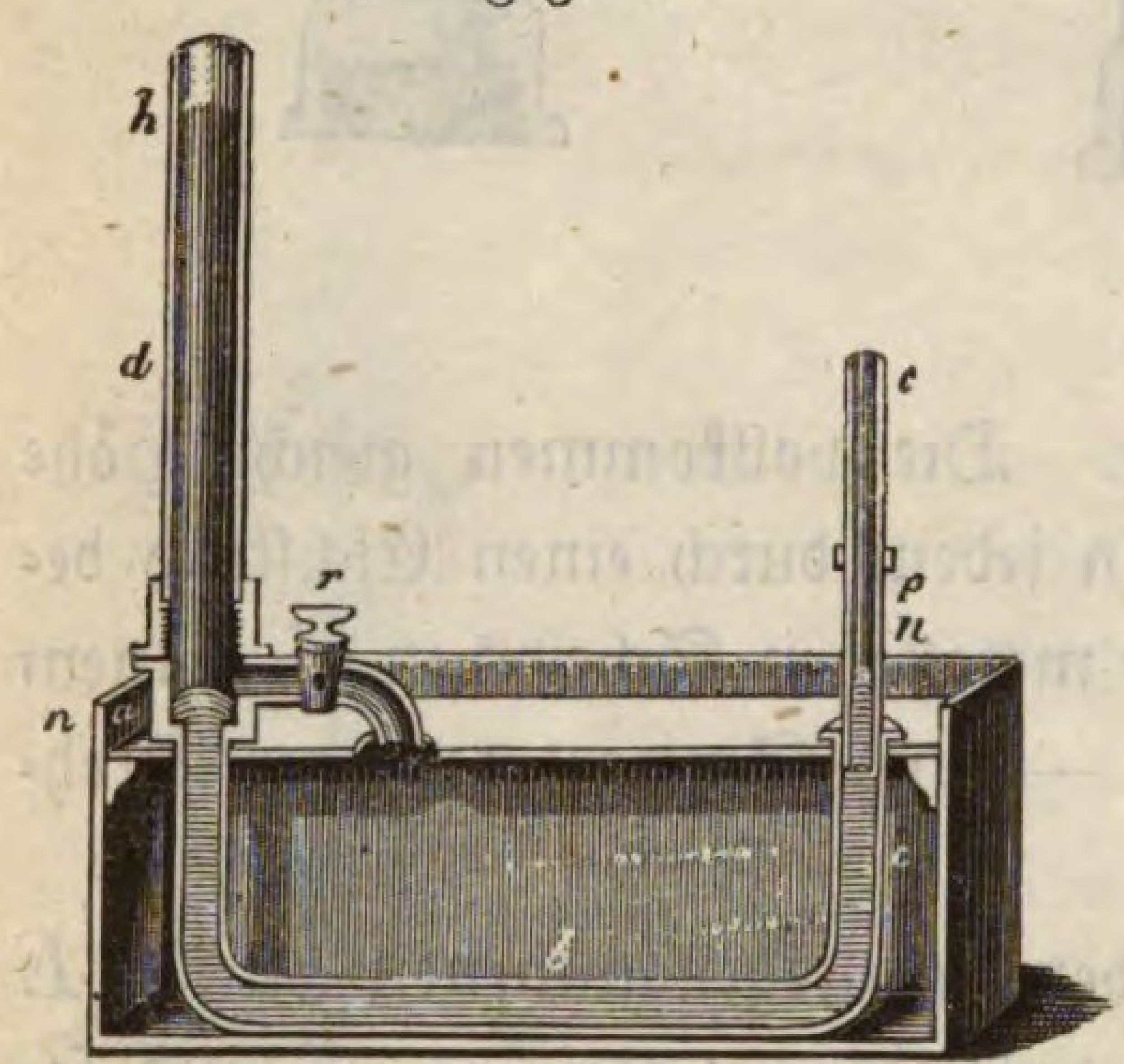
nahezu gleicher Höhe aufgeschraubt werden. Die vollkommen gleiche Höhe derselben über dem Standbrettchen wird an jedem durch einen Eichstrich bezeichnet, den man mittelst irgend einem metallenen Scheibchen — einem an ein Holzfutter gekitteten Kupferkreuzer — und Smirgel an jeder Drehbank aufschleifen kann.

Beim Gebrauche hängt man zuerst den herausgenommenen Kolben E an seinem Drahte frei an die Wage, um denselben zu tariren; er wird sodann zurückgebracht und das gleichweite Gefäß H aufgeschraubt, der Kolben wieder an die Wage gehängt und das Brettchen ABC senkrecht unter den betreffenden Haken derselben gestellt. Der Draht muß so lang sein, daß die Wage horizontal steht, wenn der Kolben sich über dem Hahn F befindet. Man füllt nun Wasser ein bis an den Eichstrich und legt in die andere Wagschale soviel Gewicht, als nöthig ist, um die Wage in Gleichgewicht zu erhalten. Allenfalls kann man das Gewicht suchen, bei welchem der Kolben zu sinken anfängt und bei welchem er wieder steigt, um daraus das Mittel zu nehmen und die sehr geringe Reibung zu eliminiren. Der Kolben erhält kein Fett, er muß für sich schließen, und wenn dieses nicht ganz der Fall wäre, wenigstens kein Schweinefett, sondern Oel. Man hängt sodann den Draht aus, läßt den Kolben bis unter den Hahn F sinken und entfernt das Wasser durch F. Dasselbe Gewicht, welches für den gleichweiten Cylinder nöthig war, wird auch dem Druck auf den Boden Gleichgewicht halten, wenn ein anderes beliebig geformtes Gefäß H aufgesetzt wird. Einen Versuch, die Reibung zu eliminiren, kann man bei diesen Gefäßen nicht anstellen, da sich mit der Bewegung des Kolbens die Höhe der Flüssigkeitssäule ändert. Man kann auch so ver-

fahren, daß man das erforderliche Gegengewicht aus dem Durchmesser des Bodens und dem bekannten Stande des Kolbens unter dem Eichstrich (wenn die Wage horizontal steht) in Voraus berechnet. Ist das eine Gefäß wirklich von gleicher Weite mit dem Cylinder, so kann man auch das darin befindliche Wasser in die andere Wagschale gießen, um zu zeigen, daß wirklich der Druck auf den Boden dem Gewichte der Wassermasse gleich ist, welche im gleichweiten Cylinder war. In diesem Falle muß man aber auch das Gewicht der andern Wagschale, die man erst anhängt, um das Wasser einzugießen, nicht übersehen.

48 Der Apparat von Haldat beruht auf dem Gesetze des Gleichgewichts verschiedener Flüssigkeiten in communicirenden Gefäßen, und erlaubt daher nur einen mittelbaren Schluß auf den Bodendruck. Er ist in Fig. 60 abgebildet. In einem Kasten von Blech ist die gebogene Glasröhre *a b c* befestigt, welche einerseits sich über den Kasten hinaus erhebt, andererseits in eine Fassung von Messing endet, an der sich der Hahn *r* befindet; diese Röhre wird bis nahe zum Hahn mit Quecksilber gefüllt. Auf die messingene Fassung kann man nun das cylindrische Gefäß *d* anschrauben, dasselbe mit Wasser füllen, und durch die verschiebbare Marke *p* am anderen Schenkel bezeichnen, wie hoch durch den Druck des Wassers das Quecksilber gestiegen ist.

Fig. 60.



Entleert man das Wasser durch den Hahn *r* und schraubt statt des cylindrischen Gefäßes solche, wie, Fig. 58 und 59 auf, so wird das Quecksilber immer wieder bis *p* steigen, wenn man sie eben so hoch mit Wasser füllt wie *d*.

49 **Der Aufdruck des Wassers.** Zu diesem Versuche kann man jedes, etwas weite Lampenkamin, Fig. 61, verwenden, gleichviel ob es gekröpft ist oder nicht. Man schleift seinen untern Rand auf einer Glasplatte mit Goldsand und zuletzt mit geschlämmten Smirgel eben. Als Bodenplatte kann man ein Stück Spiegelglas *t* nehmen, welches man vom Glaser in der erforderlichen Größe rund schneiden läßt und dann auf einem andern Spiegelglas mit feinem Smirgel matt schleift: ein Faden wird mit Siegellack angekittet. Eine gläserne Bodenplatte hat aber den Nachtheil, daß man den Faden gerne losreißt; man macht daher dieselbe lieber von Messing. Eine zugerundete Messingplatte wird auf der Drehbank mit

Fig. 61.



Siegellack concentrisch an ein Stück Holz gekittet, rund und eben gedreht und dann noch eben geschliffen, wobei das Futter, in welchem das Holz steckt, als Handhabe dient. Ist dieses geschehen, so bohrt man in die Mitte ein Loch, versieht es mit einem Gewinde und richtet einen Haken hinein. Allenfalls kann man den Haken, statt ihn einzuschrauben, nach dem Herunternehmen der Platte auf deren Rückseite vernieten. Will man aber saubere Arbeit, so kittet man die Platte nun noch einmal mit der geschliffenen Seite auf, dreht auch die Rückseite ab und firnißt sie sodann auf der Drehbank mit Schelllack.

Fig. 62.

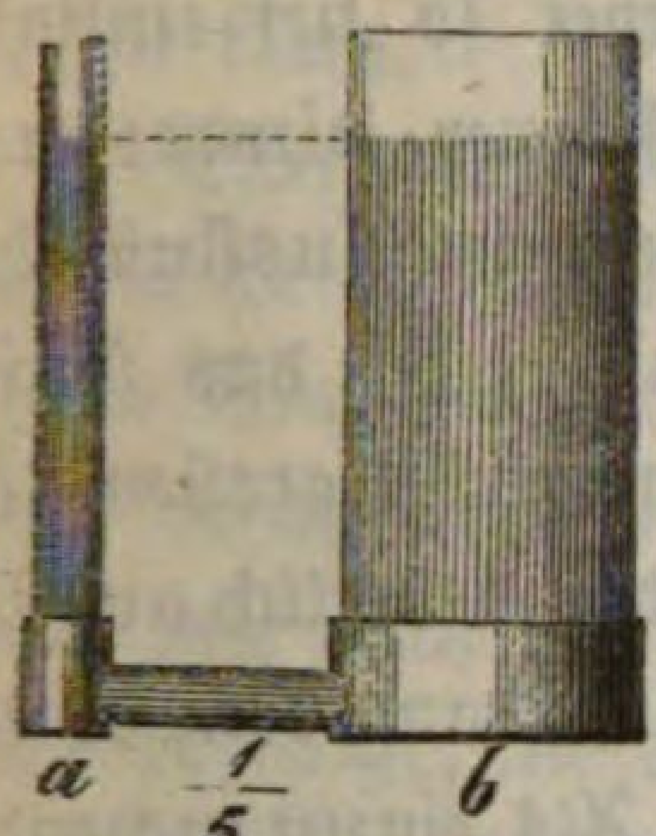
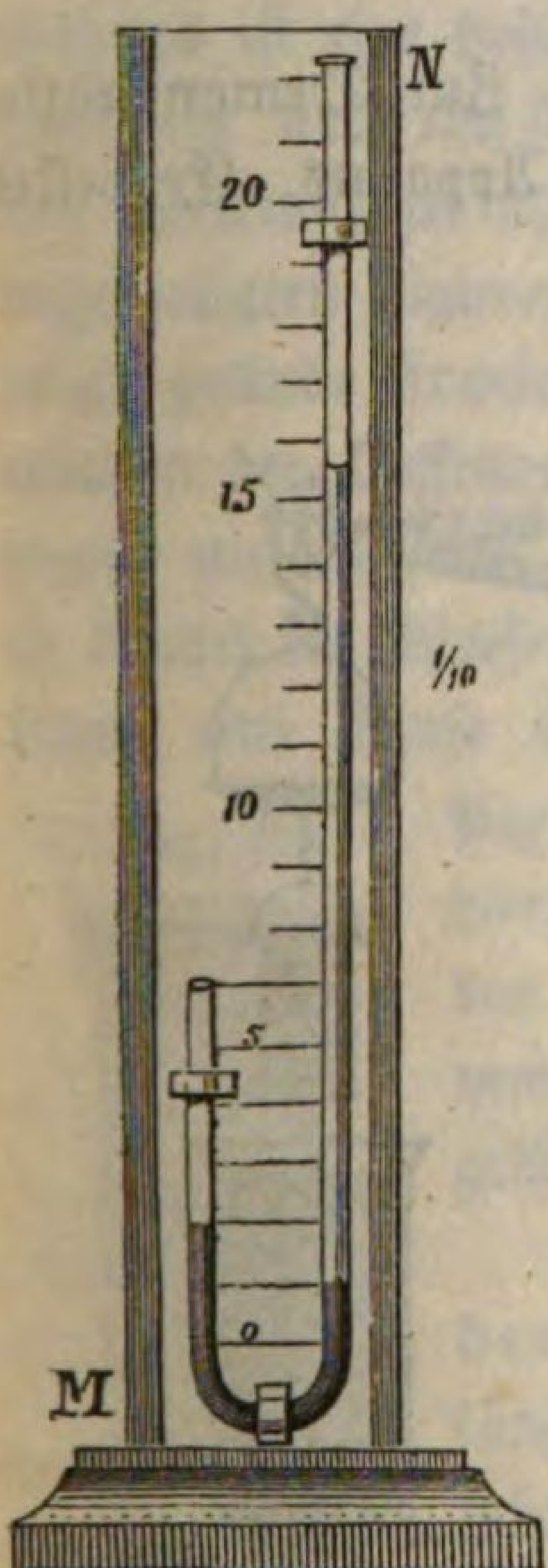


Fig. 63.



Bei dem Versuche wird kein Fett zwischen die Bodenplatte und den Rand der Glasröhre gebracht, weil sonst die Platte bei allmäligem Herausheben der Glasröhre aus dem Wasser nicht von dieser wegfallen würde, ebensowenig wenn man Wasser eingießt, um dieses zu bewirken, es sei denn, man wende in letzterm Falle einen Ueberdruck an, d. h. man stelle das Wasser in der Röhre höher als außerhalb derselben*).

Communicirende Gefäße. Man läßt in 50
einem Fuß von Blech *a b*, Fig 62, zwei ungleichweite Glasröhren kitten, wovon die engere nicht unter 4 — 5 Linien weit ist. — Um Quecksilber und Wasser anzuwenden, befestigt man auf ein mit Papier bezogenes Brettchen *MN*, Fig. 63, eine gebogene beiderseits offene etwa 3 Linien weite Glasröhre, nachdem man eine Theilung in Zolle und Linien auf dasselbe aufgetragen hat. Zuerst kommt Quecksilber in die Röhre, sodann durch einen feinen Trichter Wasser in den längern Schenkel. Die Höhe, um welche nachher das Quecksilber in einem Schenkel höher steht als im andern, verhält sich zur Höhe der Wassersäule umgekehrt wie das specifische Gewicht.

Schwimmende Körper. Um zu zeigen, daß 51
der Schwerpunkt des Körpers nicht nothwendig tiefer liegen müsse als der Schwerpunkt des ver=

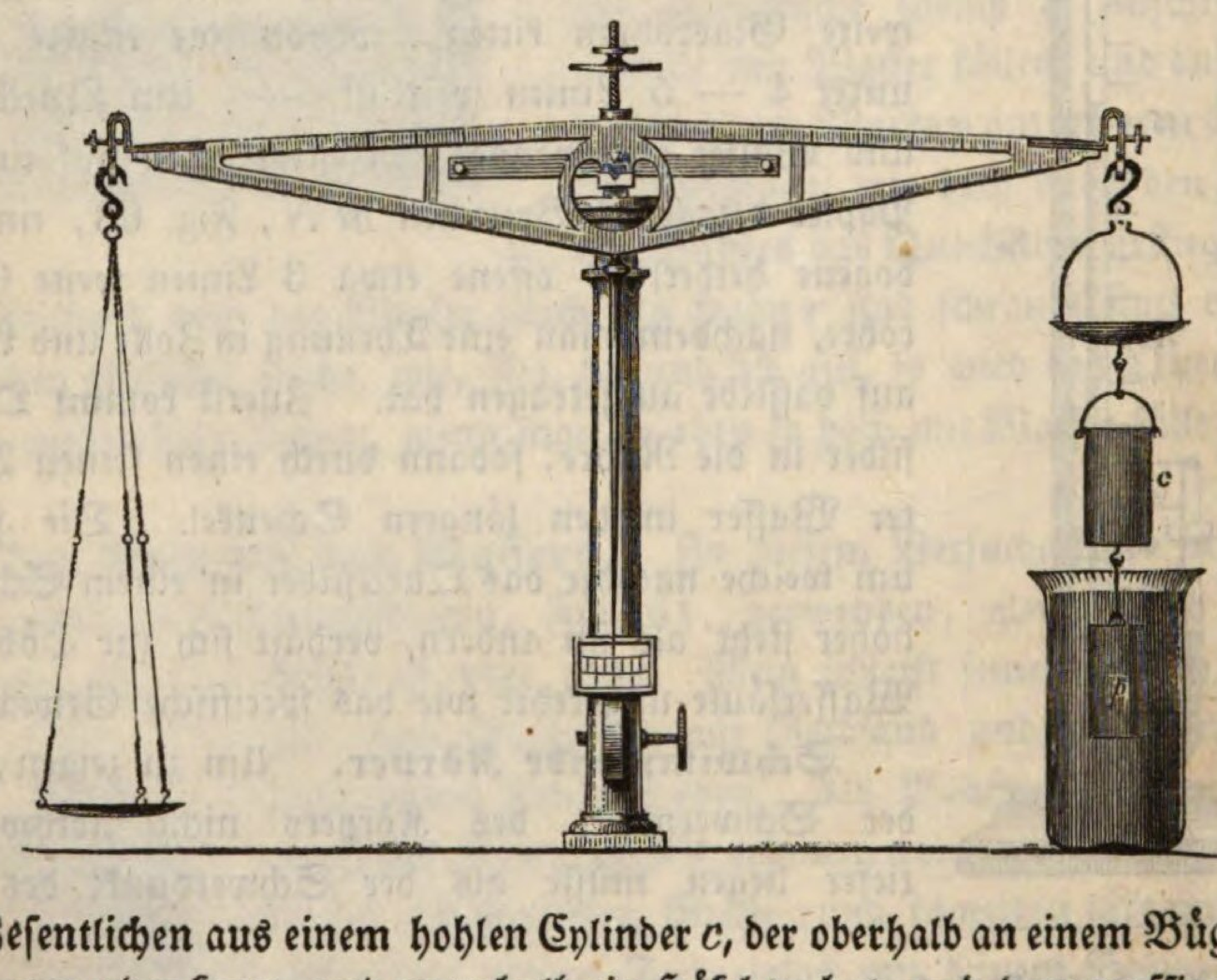
*) Alle diese Versuche beweisen freilich im Grunde immer nur dasselbe Gesetz. Jeder Lehrer aber wird schon die Erfahrung gemacht haben, wie schwierig es ist, in den Schülern die richtige Vorstellung vom Druck des Wassers so deutlich zu machen, daß sie im Stande sind, sie in einem gegebenen Beispiele richtig anzuwenden. Es ist darum gar nicht überflüssig, dieses Gesetz nach allen Richtungen durch Versuche zu verfolgen.

drängten Wassers, daß aber dennoch seine Lage keine willkürliche sei, kann man sich sehr zweckmäßig zweier elliptischer Walzen bedienen, und zwar einer aus möglichst leichtem Holze und einer aus einem großen Korke von $1/2$ — 2 Zoll Durchmesser geformten. Solche Walzen haben nur stabiles Gleichgewicht, wenn die kleine Axe der Ellipse senkrecht ist. Man kann auch die Stelle des Metacentrums auf der Grundfläche bestimmen, wenn man sich beim Unterrichte so weit einläßt.

Für die Demonstration des Satzes, daß jeder Körper so tief einsinke, bis die verdrängte Flüssigkeit soviel wäge, als der ganze Körper, nimmt man ein Blechgefäß von 2 — 3 Zoll Weite, das oben eine seitliche Ausflußröhre hat und füllt es mit Wasser, bis übriges Wasser abläuft. Ist das übrige Wasser durch die Röhre ausgeflossen, so legt man einen möglichst großen Körper in das Wasser, der in demselben schwimmt und fängt das neuerlich ausfließende Wasser in einem tarirten Gefäße auf; sein Gewicht ist dann dem vorher bestimmten Gewichte des eingetauchten Körpers gleich. Als einzutauchender Körper dient ein Stück Holz oder noch besser eine hohle gehörig beschwerte Glaskugel.

51a **Gewichtsverlust untergetauchter Körper.** Zur Demonstration dieses Satzes bedient man sich des in Fig. 64 abgebildeten Apparats. Er besteht

Fig. 64.



im Wesentlichen aus einem hohlen Cylinder *c*, der oberhalb an einem Bügel aufgehängt werden kann, und unterhalb ein Häkchen hat, und dem massiven oder doch überall verschlossenen Cylinder *p*, der mittelst eines Fadens an *c* gehängt wird; *p* muß gerade die Höhlung von *c* eben ausfüllen. Die beiden Cylinder werden nun an einer gewöhnlichen Wage (von soviel Empfindlichkeit als die Wagen des Kaufmanns) einerseits nach Entfernung der Wagschale

aufgehängt und durch zugelegte Gewichte das Gleichgewicht hergestellt. Setzt man sodann ein Glas Wasser unter, so daß *p* in dieses untertauchen müßte, so wird das Gleichgewicht gestört und tritt erst wieder ein, wenn *c* eben voll Wasser gemacht wird. Die beiden Gefäße können vom Blechner gemacht werden, ihre Ränder müssen aber scharf aneinander gelöthet sein und nicht übereinander gehen. Besser werden sie freilich, wenn sie aus Zinn oder Messing gemacht und abgedreht werden, wo man dann *p* genau in *c* einpassen kann.

Einen andern sehr instructiven Versuch kann man mit dem gleichen Apparate auf folgende Art anstellen. Auf der einen Wagschale wird ein Glas Wasser tarirt, während an der andern Wagschale oder ihrem Haken das Gefäß *c* aufgehängt ist; hängt man nun den Cylinder *p* an einen Faden, den man mit der Hand hält, oder an dem Querarm irgend eines Stativs befestigt, in das Wasser, so wird das Gleichgewicht erst wieder hergestellt, wenn der Cylinder *c* eben mit Wasser gefüllt wird.

Die Cartesianischen Taucher. Zur Erläuterung des einschlagenden 52
Gesetzes ist eine hohle Glaskugel von etwa $1/4$ — $1/2$ Zoll Durchmesser, die einerseits noch ein Röhrchen mit einer etwa $1/4$ Linie weiten Oeffnung hat, viel zweckmäßiger als die gewöhnlichen aus undurchsichtigem gefärbten Glase angefertigten Figuren. Das Füllen der Kugel, wie der Figuren, geschieht durch gelinde Erwärmung über der Weingeistlampe und nachheriges Untertauchen der Oeffnung; man bringt so mehr als das erforderliche Wasser hinein und entfernt durch Saugen wieder nach und nach soviel davon, bis die Kugel im Wasser wieder schwimmt und, wenn man zur Probe mit der Hand eine Blase über das Gefäß spannt, wie in Fig 65, durch einen mäßigen Fingerdruck auf die Blase zum Sinken gebracht wird; hierauf bindet man die Blase erst über das Gefäß. Um den Apparat nicht jedesmal erst richten zu müssen, wenn man ihn brauchen will, versetzt man das Wasser mit Weingeist und verbindet das Glas mit einer Kautschukplatte.

Fig. 65.



Bestimmung des specifischen Gewichtes. a. Mit der Wage. Das Verfahren im Allgemeinen ist hinlänglich bekannt. Die beim Wägen selbst nöthigen Vorsichten sind bei dem Artikel Wage angegeben. Bindet man den Körper an, um ihn an dem Häckchen der kürzern Wagschale in das Wasser zu hängen, so nimmt man hiezu möglichst feinen Draht oder, wenn es das Gewicht des Körpers erlaubt, ein mit Lauge entfettetes Menschenhaar. In jedem Falle muß daß Gewicht des Haares oder Drahtes tarirt werden. Ein unvermeidlicher Fehler dieser Methode besteht darin, daß der Gewichtsverlust des Haares im Wasser dem zu wägen- 53

den Körper angerechnet wird. Dieser Fehler wird allerdings vermieden, wenn man den zu untersuchenden Körper in ein Gläschen mit aufgeschliffenem Deckel legt, um ihn in Wasser zu wägen, ähnlich wie man mit pulverförmigen Körpern zu verfahren genöthigt ist. Allein die Empfindlichkeit jeder Wage nimmt mit der Belastung ab, der mögliche Fehler des Abwägens wird also größer und ganz allein auf den kleinen Gewichtsverlust des Körpers übertragen; dadurch wird wohl in der Regel ein größerer Fehler gemacht, als jener ist, den man vermeiden wollte.

Für tropfbarflüssige Körper wendet man entweder ein Gläschen mit aufgeschliffenem Deckel, oder besser ein solches mit engem Halse und einem eingeschliffenen aus einer Thermometerröhre gemachten Propfen an. Im ersten Falle schleift man den Rand des Glases und den Deckel zuerst jedes für sich mit Sand und Wasser auf einer ebenen Glasplatte; wenn der Sand überall gleichmäßig angegriffen hat, nimmt man geschlämmten Smirgel, um beide fein matt auf einander selbst abzuschleifen. Soll ein Stöpsel eingeschliffen werden, so wird zuerst der Hals des Gläschens mit einem konischen Messingzäpfchen auf der Drehbank roh ausgeschliffen, dann die an der Lampe konisch ausgezogene Glasröhre in einem Holzfutter auf die Drehbank gebracht und in die Oeffnung unter beständigem Hin- und Herziehen mit Sand und Smirgel eingerieben*). Die letztere Arbeit ist jedenfalls ungleich schwieriger als die erstere. In jedem Falle muß man ein Glas auswählen, daß keine überflüssige Masse an sich hat. Das Gewicht des leeren, so wie des mit Wasser von einer bestimmten mittleren Temperatur — 12° R. — gefüllten Gefäßes wird ein für alle-

*) Sollte man in den Fall kommen, größere Glasstöpsel in Flaschen einschleifen zu müssen, da die käuflichen gewöhnlich nicht sorgfältig gearbeitet sind, so würde der Pfropf nur in ein Holzfutter auf der Drehbank befestigt und auf die gleiche Weise behandelt, wenn er wenigstens annähernd in die Oeffnung paßt, d. h. dem gleichen Kegel angehört; wäre letzteres nicht der Fall, so müßte man zwei gleich konische Zwingen von dickem Kupferblech hart zusammenlöthen, jede auf ein Holzfutter befestigen, die eine mit der weiten, die andere mit der engen Oeffnung nach außen; letztere müßte außerhalb, erstere innerhalb rund gedreht werden, um in der einen den Zapfen, in der andern den Hals der Flasche vorzuschleifen. Einfacher wäre es, nur den Hals zu schleifen und die hiezu bestimmte Zwinge nach dem Zapfen zu richten.

Bleibt einmal ein solcher Glasstöpsel stecken, so wende man nicht zu viel Gewalt an; es ist am besten, wenn man den Hals der Flasche auf einer kleinen Weingeistflamme rasch erwärmt, und wenn er mehr als handwarm geworden ist, den Stöpsel drehend zu heben sucht. Geht es nicht, so läßt man die Flasche kalt werden und erwärmt ein zweitesmal stärker. Bei diesem Erwärmen hat man aber die nöthigen Vorsichtsmaßregeln zu treffen, um für den Fall, daß das Glas springen würde, entweder den Inhalt nicht zu verlieren oder sich nicht durch denselben zu beschädigen.

mal durch wiederholte Versuche genau bestimmt und auf einem Zettel dem Apparate beigelegt.

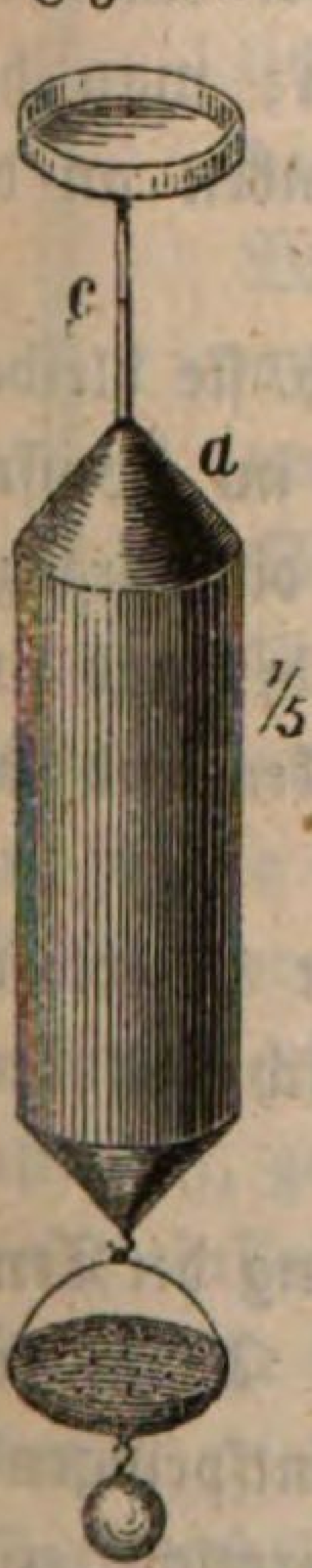
Bei leicht verdunstenden Flüssigkeiten — wie Weingeist — ist jedoch das Glas mit weiter Oeffnung kaum anwendbar; es dringt nämlich die Flüssigkeit zwischen dem Gefäß und dem Deckel durch und verdunstet an dem großen Umfange reichlich; in Folge dessen bilden sich bald kleine Bläschen an der innern Wand des Gefäßes und wenn man die Wägung bald vollendet hat, muß man immer wieder Gewicht abnehmen. Besitzt man daher kein Gläschen mit engem Halse, so verfährt man besser so, daß man einen in der Flüssigkeit nicht auflöslichen Körper in dieser und in Wasser abwiegt, wodurch man sehr genaue Resultate erhält. Am besten eignet sich hierzu eine massives Glasstück, oder auch eine hohle Glaskugel, Fig. 66, die man vor dem

Fig. 66.



Zuschmelzen mit etwas Quecksilber beschwert hat, von etwa 1 Zoll Durchmesser; an der Kugel kann man einen Haken umbiegen; statt der Kugel kann man eine ebenso zugerichtete etwa 2 — 1½ Zoll lange und ⅓ Zoll weite Glasröhre anwenden. Zum Aufhängen nimmt man Platindraht, um auch Säuren bestimmen zu können. Man kann nun das Gewicht der Kugel in der Luft und ihren Gewichtsverlust in Wasser für eine bestimmte Temperatur suchen und dem Apparate beilegen, so daß man für jede zu bestimmende Flüssigkeit nur eine Wägung zu machen hat. Sehr bequem ist es, wenn man zugleich ein Stück Blei richtet, welches die Kugel in der Luft gerade tarirt; ist dieselbe dann in eine Flüssigkeit eingetaucht, so giebt das auf die kürzere Wagschale zuzulegende Gewicht unmittelbar den Gewichtsverlust an. Man muß in jedem Falle dafür sorgen, daß keine Luftbläschen an dem einzutauchenden Glasstücke hängen bleiben, eine Vorsicht, die auch bei der Bestimmung des specifischen Gewichts der festen Körper wohl zu beachten ist. Sorgfältige Reinigung des einzutauchenden Körpers, nöthigenfalls mit Weingeist, und vorheriges Benetzen desselben in einer andern Portion Flüssigkeit führen in dieser Beziehung am sichersten zum Ziele.

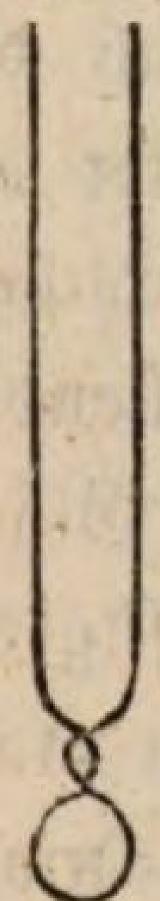
Fig. 67.



b. Mit dem Nicholson'schen Aräometer. Was die Einrichtung des Instrumentes betrifft, so ist es sehr zweckmäßig, 54
wenn das Sieb, in welches die Körper beim Abwägen kommen, auch verkehrt angehängt werden kann, was bei der in Fig. 67 dargestellten Form möglich ist, damit man Körper, die leichter sind als Wasser, darunter bringen kann. Wenn man nicht gerade beabsichtigt, das Aräometer auch für tropfbare Flüssigkeiten zu ge-

brauchen, so wird es von dünnem Messingblech gemacht, wobei darauf zu sehen ist, daß der Körper desselben bei *a* konisch wird, denn sonst findet bei einigem Uebergewicht ein zu plötzliches Einsinken statt. Wenn das Instrument einmal bis an das Schälchen *b* eingesunken, dieses also naß geworden ist, so muß es abgetrocknet werden; um sich diese Mühe zu ersparen, so wie um das Anhängen des Instrumentes an die Wände des Glases zu verhindern, legt man um den Rand des letzteren, und unter dem Schälchen *b* durch, einen gabelförmig gebogenen Draht, Fig. 68.

Fig. 68.



Von der Feinheit des Stiftes *c* hängt die Empfindlichkeit des Instrumentes ab; um denselben daher möglichst dünn nehmen zu können, wird er aus hart gezogenem Messingdrahte gemacht, in den Körper des Instruments eingeschraubt und nur der luftdichten Verschließung wegen mit leichtflüssigem Lothe eingelöthet. Die Marke in der Mitte des Stiftes besteht aus einem ringsum laufenden feinen Feilstrich.

Körper, Schälchen und Sieb werden gleichweit gemacht, um sie in demselben Futteral aus Pappe verwahren zu können. Sieb und Kugel kommen dabei in eine besondere Abtheilung. Man muß die Verhältnisse nach der Dicke des Messingblechs so wählen, daß das Instrument leer noch nicht bis an den oberen Kegel einsinkt, und beim Einsenken bis an die Marke die Gränze des stabilen Gleichgewichts beinahe erreicht wird, damit man die dem Volumen entsprechende größte Tragfähigkeit erlange.

Für jedes solches Instrument wird die Tara, d. h. das erforderliche Gewicht, um dasselbe bis zur Marke einsinken zu machen, bei einer bestimmten Temperatur genau ausgemittelt und aufgeschrieben; man hat dann nur die außer dem zu wägenden Körper bis zum Einsinken an die Marke erforderlichen Gewichte von der Tara abzuziehen.

Alle diese Instrumente sind mehr oder weniger träge, d. h. sie bleiben bei einem bestimmten Gewichte bis zu verschiedenen Tiefen im Wasser. Man richtet daher das Gewicht auf dem Schälchen so, daß die Gränze, bis zu welcher das Aräometer eingetaucht bleibt, gleich weit über und unter der Marke liegen. Man erreicht dieses durch leichtes Drücken und Heben des Instrumentes.

Eine besondere Vorsicht muß man auf Entfernung der Luftblasen verwenden, namentlich aus den Löchern des Siebes, wo sie sich besonders gern festsetzen.

Bei allen diesen Versuchen wäre eigentlich die Beobachtung der Temperatur und die daraus folgenden Correcturen unerläßlich. Allein für den Unterricht nimmt man davon Umgang. Da der daraus entspringende Fehler nicht leicht eine Einheit auf der zweiten Decimalstelle erreicht, und

die Uebereinstimmung eines Versuches mit einer Tabelle des specifischen Gewichts für genannten Zweck genügend ist, wenn sie bis auf die zweite Decimalstelle geht. Anders verhält sich die Sache, wenn man einen genauen Versuch zu machen hat.

c. Aräometer mit Skalen. Das Volumeter. Für die Erläu- 55
terung der Theorie des Instruments nehme man eine recht dünne möglichst gleiche und etwa 1 Cent. weite Glasröhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, schmelze sie unten zu, drücke den Boden eben und weite den obern Rand nur unmerklich aus, um ihm die Schärfe zu nehmen. Man setze dieselbe in Wasser und beschwere sie mit Schrot und etwas Wachs oder Siegellack so weit, bis sie senkrecht schwimmt. Den noch freien Raum *a b*, Fig. 69, halbire man in *c* und theile nun die Länge *c d* auf einem Papierstreifen in 100 Theile und setze diese Theilung auch noch fort für die Entfernung *a c*. Sind die Zahlen gehörig aufgeschrieben, so schneidet man die untersten 2 oder 3 Zehner weg und befestigt an die vier Ecken des Papierstreifens — der etwa halb so breit sein muß als der Umfang der Röhre beträgt — vier Siegellacktröpfchen; außerdem richtet man ein in die Oeffnung der Röhre passendes dünnes Korkscheibchen, dessen Rand ebenfalls mit Siegellack überzogen ist. Das Papier wird nun über eine Thermometerröhre gekrümmt und soweit in die Röhre geschoben, daß der hundertste Strich genau nach *c* kommt und an dieser Stelle durch gelindes Erwärmen der Röhre an den Stellen, wo die vier Siegellacktröpfchen sich befinden, befestigt. Zuletzt legt man die Korkscheibe auf und regulirt nun das unten in der Röhre befindliche Gewicht so, daß dieselbe, bei der schon vorher auf die Rückseite der Skale aufgeschriebenen Temperatur genau bis 100 im Wasser einsinkt, nachher wird das Gewicht bei *d* durch Erwärmen der Röhre mittelst des dazu gelegten Wachses eingeschmolzen und auch die Korkscheibe auf gleiche Weise befestigt, ohne weiteres Siegellack dazu zu verwenden. Den für den Gebrauch erforderlichen Umfang wird man freilich so nie erreichen; aber wenn man zwei solche Volumeter macht, deren eines für Flüssigkeiten, die schwerer sind als Wasser, gilt, so erhält man schon einen ziemlichen Umfang. Für das Volumeter für schwerere Flüssigkeiten läßt sich die Skale direct machen, für das andere muß man eine Flüssigkeit bereiten, deren specifisches Gewicht, mit der Wage bestimmt, genau 0,8 ist; der Punkt, bis zu welchem das Volumeter in dieser einsinkt, ist 125 und man hat also die Skale vom Wasserpunkte an bis hierher in 25 Thle. zu theilen und diese fortan gleich aufzutragen. Selbst aber so wird man noch ziemlich weite Röhren anwenden müssen und kleine Theile erhalten. Engere Röhren aber und größere Theile erforden eine

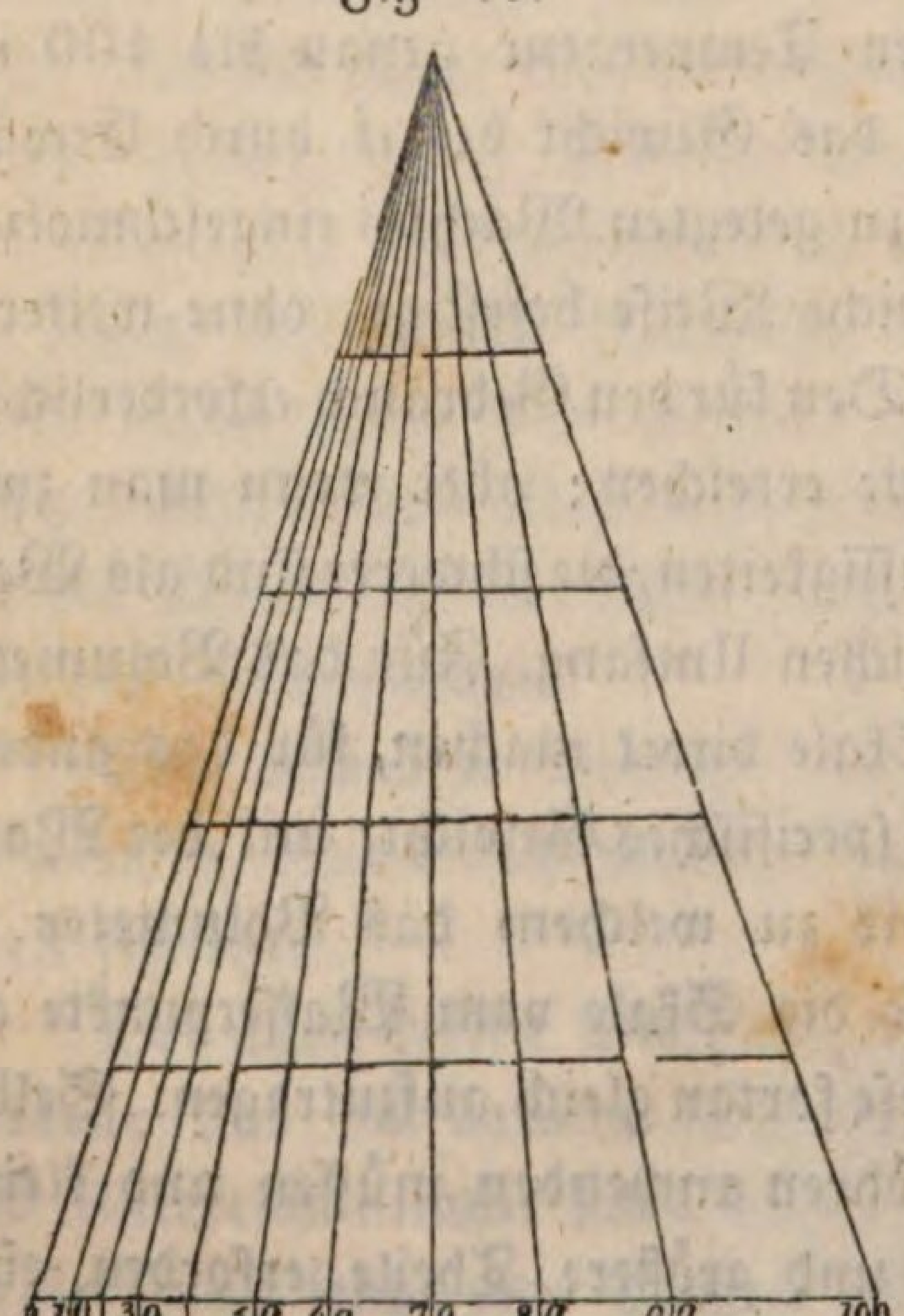
Fig. 69.



angeblasene Kugel, und es wird also hier, wie bei Aräometern überhaupt, wenig anderes übrig bleiben als das Kaufen; man müßte sich nämlich sehr lange im Glasblasen üben — wovon das nöthigste beim Artikel Thermometer vorkommt — um es so weit zu bringen, daß man dergleichen Instrumente schön und drehrund zu Stande bringt. Es wird sich daher hier lediglich nur darum handeln, wie man diese ohnehin nicht theuren Instrumente zu prüfen hat, und in dieser Beziehung hat das Volumeter nichts vor den übrigen voraus. Man muß nämlich mittelst der Wage oder nach einem andern schon sicheren Instrumente das specif. Gewicht einer Flüssigkeit bestimmen und dann nachsehen 1) ob das neue Volumeter dasselbe Gewicht angibt und 2) ob seine Theile alle genau gleich groß sind. Wollte man sich auch noch darüber genauer versichern, ob die Röhre überall gleich dick ist, so müßte man sie mit mehreren Flüssigkeiten von bekanntem specif. Gewichte vergleichen. So einfach das Volumeter in theoretischer Beziehung ist, praktisch ist es doch nicht und wird nie in Gebrauch kommen, da es jedesmal eine, wenn auch noch so einfache Rechnung erfordert und keine größere Genauigkeit verspricht, als ein Aräometer, welches unmittelbar für specif. Gewicht getheilt ist. Nur die Richtigkeit seiner Theilung ist etwas leichter zu controliren. Allein für Aräometer mit ungleicher Theilung verfährt man auf folgende Weise.

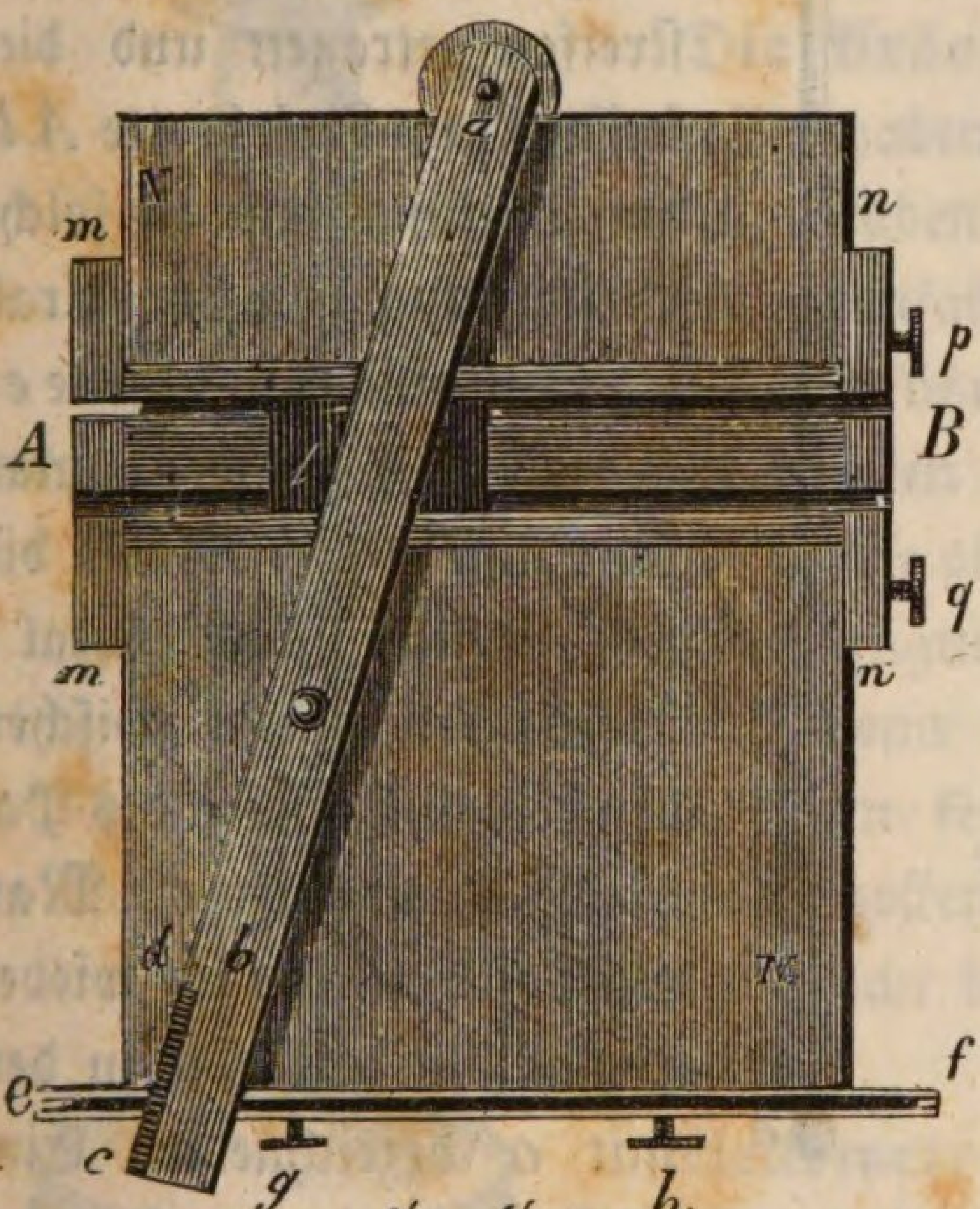
56 **Prüfung der Aräometer.** Die Theilung derselben, d. h. das Verhältniß der einzelnen Skalentheile zur ganzen Länge, ist bekannt, und wird in ziemlich großem Maaßstabe, etwas größer, als es möglicherweise an einem Aräometer vorkommen kann, auf starkes Papier aufgetragen. Ueber der ganzen Skale errichtet man ein gleichschenklichtes Dreieck, Fig. 70, und zieht von jedem Theilpunkte an die Spitze eine gerade Linie. Soll nun eine Skale geprüft werden, so legt man sie nur parallel mit der Grundlinie so auf das Dreieck, daß seine beiden Seiten durch die Endpunkte der Skale gehen, und sämmtliche Theilungen der Skale müssen mit der Theilung des Dreiecks zusammenfallen. Zu diesem Behufe zieht man schon im Voraus in kleinen Zwischenräumen Parallelen mit der Grundlinie des Dreiecks. Fig. 70 zeigt dieses für ein Alkoholometer nach Tralles. Es ist hierbei aber zu bemerken, daß für diese Skale die Theile nicht nur für die Zehner aufgetragen werden und dann innerhalb dieser gleich getheilt werden dürfen; wenigstens für die obere Hälfte müssen sie ganz aufgetragen werden.

Fig. 70.



Die Theilmaschine. Die Theilung selbst wird von den Künstlern 57 nach demselben Principe gefertigt und man kann sich sehr leicht eine derartige Theilmaschine je nach Bedürfniß in größerer oder geringerer Vollkommenheit herstellen. Ihre Einrichtung besteht in Folgendem. Auf einer soliden, aus altem Holze gefertigten starken Platte *MN*, Fig. 71,

Fig. 71.



1/10 – 1/15

dreht sich um den Zapfen *a* die hölzerne Schiene *a b*, welche an ihrem Ende *b* einerseits mit einer stählernen Lamelle *c d* versehen ist, die senkrecht zu *MN* steht. Auf der von *a* gegenüberliegenden Seite ist die Leiste *e f* befestigt; sie hat einen Schlitz, in welchem mittelst zweier Schrauben *g h* eine eiserne oder messingene Schiene befestigt werden kann. Solcher Schienen hat man mehrere, sie tragen alle auf ihrer langen Kante irgend eine der gebräuchlichen ungleichen Theilungen, eine ist auch in gleiche Theile getheilt.

Auf der Platte *MN* und unter der Schiene *a b* kann das Linirbrettchen *A B* verschoben werden, es wird durch die beiden Führungsleisten *m n*, *n n* stets parallel zu *ef* gehalten und läßt sich an einer beliebigen Stelle durch die beiden Schrauben *p q* feststellen. In dieses Brettchen ist das etwas breite aber kurze eiserne Lineal *l* eingelassen und läßt sich in einer Nuth mittelst der Schiene *ab* und eines auf *l* angenietheten Zäpfchens verschieben; es muß leicht gehen, aber doch sicher in seiner zu *e f* senkrechten Richtung erhalten werden. Unter dem Lineale befindet sich eine Vertiefung in *A B*, in welche die zu theilende Skale gelegt wird. Auf dem Lineale kann nun noch eine Vorrichtung angebracht werden, um die Theilstriche durch ein mechanisch geführtes Instrument aufzuzeichnen oder einzureißen, wenn die Arbeit sehr genau und schnell gehen soll.

Soll nun ein solches Instrument getheilt werden, z. B. ein Alkoholometer nach Tralles, so richtet man seine Belastung so ein, daß es in Wasser bis *a*, Fig. 73 (a. f. S.), einsinkt, nachdem bereits das Papier mit seinem Siegellack in die Röhre geschoben ist. Die aproximative Länge der Röhre wird durch einen vorläufigen Versuch ermittelt. Sodann nimmt man Weingeist von einem bekannten specifischen Gewichte und sieht auf der zugehörigen Tabelle nach, von wie viel Procenten derselbe ist, setzt das Aräometer hinein und bezeichnet die Stelle bis zu der es einsinkt; sei es

z. B. 80procentiger Weingeist und *c* der Punkt. Die richtige Temperatur der Flüssigkeit wird durch das Null des eingeschmolzenen eigenthümlich graduirten Thermometers angegeben. Die Länge *a c* wird nun auf den herausgenommenen Papierstreifen getragen und dieser auf dem Linirbrette *A B* der Theilmaschine in solche Entfernung von der (Tralles'schen) Messingschiene *e f* gebracht, daß, wenn man die Schiene *a b* von 0 bis 80 verrückt, das Lineal *l* gerade den Raum zwischen den beiden Strichen des Papiers durchläuft. Man rückt sodann *a b* wieder zurück, so daß *c d* in den mit *o* bezeichneten Einschnitt klappt, führt es von Theilstrich zu Theilstrich weiter und trägt jeden auf das Papier am Lineal *l* ab. Ist die ganze Theilung aufgetragen, so wird der Streifen in die Röhre zurückgebracht, seine Stellung nochmals controlirt und dann die Röhre ohne Glasverlust zugeschmolzen. Gewöhnlich bedient man sich zur Ausmittelung des beliebigen, doch etwas hoch liegenden Punktes *c* der Skale eines Normalinstruments, statt das specifische Gewicht des Probealkohols durch die Wage zu suchen.

Fig. 72.

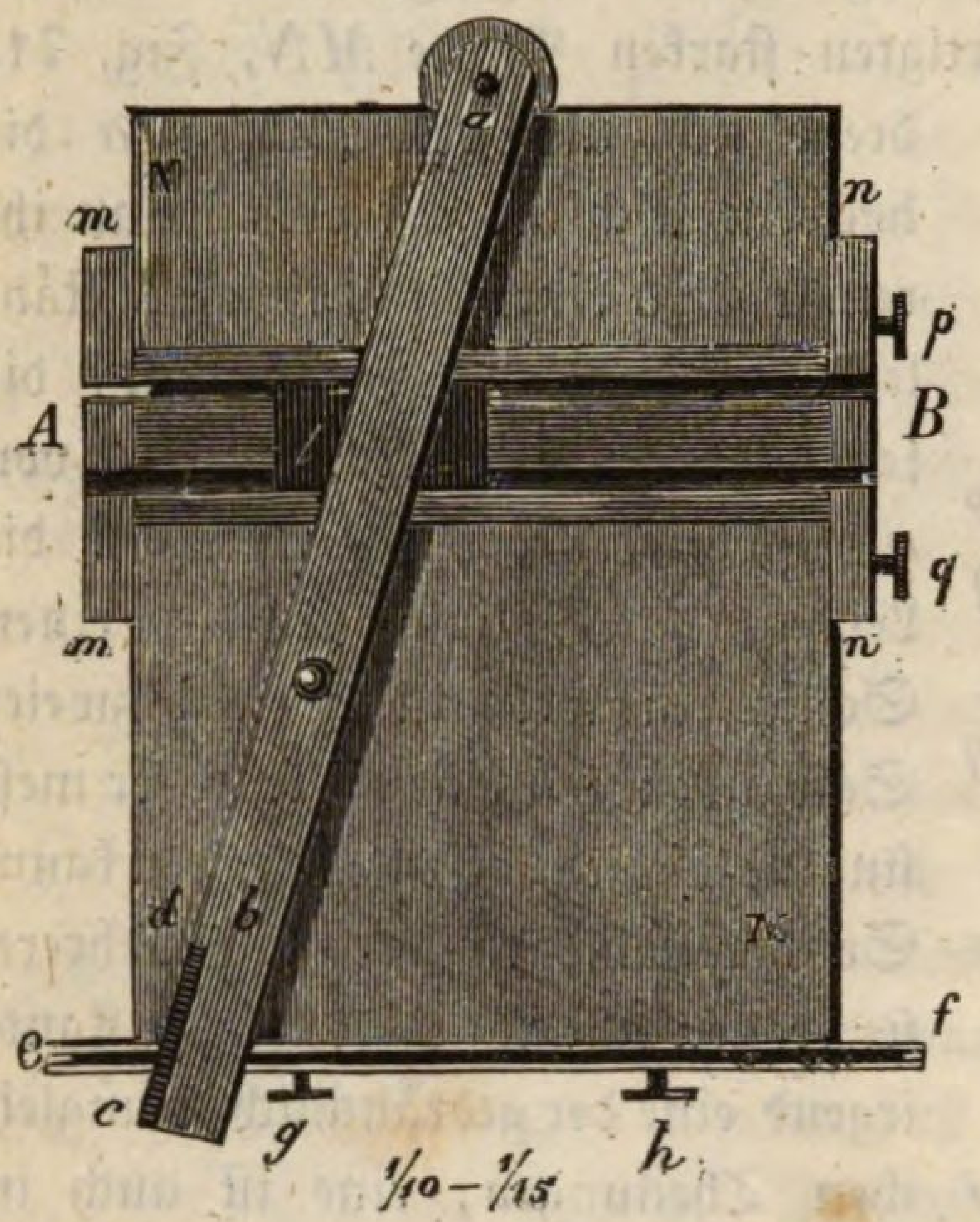


Fig. 73.

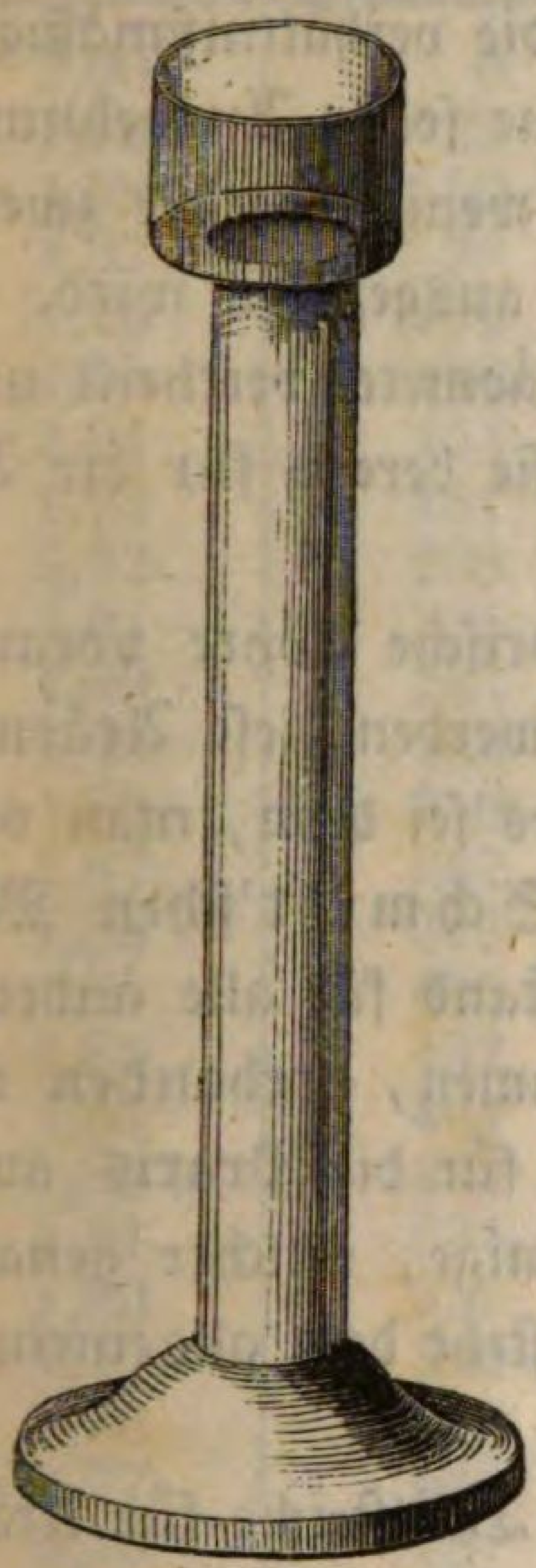


58 **Die Alkoholometer nach Tralles** enthalten gewöhnlich außer der Skale von Tralles noch eine zweite Skale, welche Gewichtsprocente des Alkohols angeben soll, und auf diese bezieht sich eigentlich das Thermometer, welches in die weite Röhre des Aräometers eingeschmolzen ist. Es hat sein 0 bei + $12\frac{4}{9}$° R. (60° F.) und seine einzelnen Grade betragen $2\frac{1}{4}$° R. Sie sind so groß, daß wenn die Temperatur der Flüssigkeit um *n* solcher Grade höher oder tiefer ist, als die Normale, das Instrument umgekehrt um *n* Richter'sche Grade tiefer oder höher stehen soll, als es bei normaler Temperatur stehen würde. Man lies't also in einem solchen Falle zuerst die sonst nicht gebräuchliche Richter'sche Skale ab und sieht nach, welcher Grad nach Tralles dem gefundenen Richter'schen entspricht.

Da diese Instrumente etwas lang sind, so muß man eigene hohe enge Cylinder für sie haben. Bequem ist es beim Ablesen, wenn die Cylinder

nahezu voll sind, was aber leicht ein Ueberlaufen herbeiführt; eine Form wie Fig. 74 ist darum sehr zweckmäßig. Die gewöhnlich beigegebene Richter'sche Skale beruht auf unrichtigen Voraussetzungen und stimmt in der That nicht mit den wahren Gewichtsprocenten, ist daher nur für die erwähnte Correctur brauchbar.

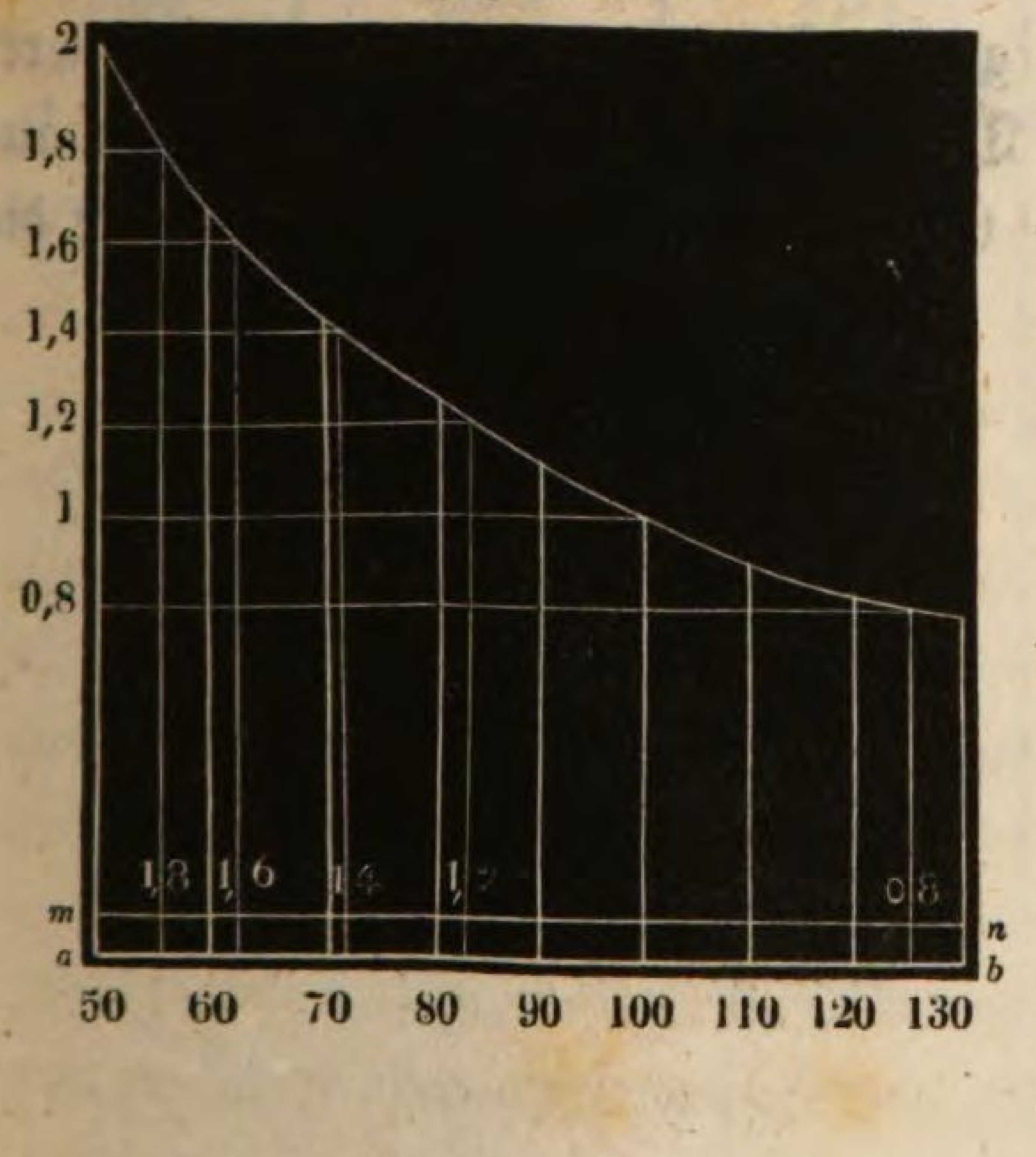
Fig. 74.



Die Aräometer nach Beck, Beaumé und Cartier haben ganz willkürliche Skalen mit gleich großen Graden. Sie können zwar mit Hülfe einer Tabelle ebenfalls zur Ausmittelung des specifischen Gewichtes führen, und solche Tabellen findet man in den meisten Lehrbüchern der Physik, sollten aber billiger Weise allmälig aus der Praxis verschwinden. Ihre Anfertigung geht aus dem oben Gesagten leicht hervor, wenn man die ihnen zu Grunde liegenden willkürlichen festen Punkte kennt. Geprüft werden sie am kürzesten mit einer Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht bekannt ist, mit Hülfe der erwähnten Tabellen. 59

Aräometer nach specifischem Gewicht. Die Theilung der Aräometer für unmittelbare Angabe des specifischen Gewichtes war früher sehr umständlich und vielleicht gerade darum von den Verfertigern solcher Instrumente nicht geliebt. So wie man aber aus der Volumeterskale $a\,b$ Fig. 75, wenn man in der Gleichung $y = \frac{100}{x}$, für x allmälig die verschiedenen Angaben des Volumeters einsetzt, die specifischen Gewichte erhält, so kann man auch umgekehrt aus $x = \frac{100}{y}$ die Punkte der Volumeterskale $a\,b$ finden, welche den specifischen Gewichten entsprechen — d. h. die Punkte eines Maaßstabes, der in 100 Theile getheilt ist, die aber die Zahlen von 50—130 tragen, wo dann der Punkt 50 dem specifischen Gewichte 2,0, 100 dem specifischen Gewichte 1,0 entspricht. Rechnet man auf diese Weise die Theile des Maaßstabes für die specifischen Gewichte 1,9; 1,8 u. s. w. bis 0,7, 60

Fig. 75.



so erhält man als Theile des Maaßstabes 52,63; 55,55; 58,81; 62,50; 66,66; 71,43; 76,92; 83,33; 90,90; 100,00; 111,11; 125,00; 142,85. Diese Tabelle muß aber für die specifischen Gewichte der zweiten Decimalstelle gerechnet werden. Man trägt sodann die verhältnißmäßigen Theile auf die Mutterskale auf, indem man ihr eine solche Ausdehnung giebt, daß für die specifischen Gewichte von 2—1 wenigstens die zweite Decimalstelle und von 1 — 0,7 auch noch die dritte ausgezogen wird.

Immer wird auch hier die Skale auf zwei Aräometer vertheilt und die Anfertigung geschieht auf die gleiche Weise, wie sie bereits für die Alkoholometer nach Tralles gezeigt wurde.

Allerdings setzt dieses eine vollkommen cylindrische Röhre voraus, und da diese Voraussetzung nie genau richtig ist, so werden diese Aräometer nie ganz genau das specifische Gewicht angeben, es sei denn, man verfertige sie nach der sehr umständlichen Brisson-Schmidt'schen Methode. Allein wenn man bedenkt, daß derselbe Uebelstand für alle anderen Aräometerskalen, die Volumeterskale nicht ausgenommen, vorhanden ist, und daß bei einiger Sorgfalt in der Auswahl immer für die Praxis ausreichend gute Röhren zu erhalten sind, und daß derjenige, welcher genaue Bestimmungen nöthig hat, doch zur Wage greift, so steht dem allgemeinen Gebrauche dieser Aräometer nichts im Wege.

Die folgende Tabelle enthält die Entfernung der Theilstriche für Aräometer nach specifischem Gewichte und nach Tralles. Es wäre nach der ersten Tabelle die Skalenlänge, d. h. die Basis des gleichschenklichten Dreiecks Fig. 70 oder die Länge der Schiene *ef* Fig 71 eines Aräometers für Flüssigkeiten schwerer als Wasser in 5000 und für Flüssigkeiten leichter als Wasser in 4285 Theile zu theilen, und die Tabelle giebt dann an, auf welchen Punkt dieser Theilung das beistehende specifische Gewicht kommt. Bei letztern ist noch die Theilung für die dritte Decimalstelle möglich; man theilt aber den Zwischenraum stets nur in gleiche Theile, da hiedurch kein merklicher Fehler entstehen kann, wie die Tabelle selbst zeigt, da sie für den äußersten Fall, nämlich von 0,70 — 0,71, auch die Skalentheile für die dritte Stelle enthält.

Specif. Gewicht.	Skalentheile von 5000.	Specif. Gewicht.	Skalentheile von 5000.	Specif. Gewicht.	Skalentheile von 5000.
2,00	0	1,51	1622	1,02	4803
1,99	25	1,50	1666	1,01	4900
1,98	50	1,49	1711	1,00	5000
1,97	76	1,48	1756		
1,96	102	1,47	1802		
1,95	128	1,46	1849	Specif. Gewicht.	Skalentheile von 4285.
1,94	154	1,45	1896		
1,93	181	1,44	1944		
1,92	208	1,43	1993		
1,91	235	1,42	2042	1,00	0
1,90	263	1,41	2092	0,99	101
1,89	290	1,40	2143	0,98	204
1,88	319	1,39	2194	0,97	309
1,87	347	1,38	2246	0,96	416
1,86	376	1,37	2299	0,95	526
1,85	405	1,36	2352	0,94	638
1,84	432	1,35	2407	0,93	752
1,83	464	1,34	2461	0,92	869
1,82	494	1,33	2518	0,91	989
1,81	524	1,32	2575	0,90	1111
1,80	555	1,31	2633	0,89	1236
1,79	586	1,30	2692	0,88	1363
1,78	617	1,29	2752	0,87	1493
1,77	649	1,28	2812	0,86	1628
1,76	681	1,27	2874	0,85	1764
1,75	714	1,26	2936	0,84	1903
1,74	747	1,25	3000	0,83	2048
1,73	780	1,24	3064	0,82	2195
1,72	813	1,23	3130	0,81	2345
1,71	847	1,22	3196	0,80	2500
1,70	882	1,21	3262	0,79	2658
1,69	917	1,20	3333	0,78	2820
1,68	952	1,19	3403	0,77	2989
1,67	988	1,18	3474	0,76	3157
1,66	1024	1,17	3547	0,75	3333
1,65	1060	1,16	3620	0,74	3513
1,64	1097	1,15	3695	0,73	3698
1,63	1134	1,14	3771	0,72	3888
1,62	1172	1,13	3849	0,71	4084
1,61	1211	1,12	3928	0,709	4104
1,60	1250	1,11	4009	0,708	4124
1,59	1289	1,10	4090	0,707	4144
1,58	1329	1,09	4174	0,706	4164
1,57	1369	1,08	4259	0 705	4184
1,56	1410	1,07	4345	0,704	4204
1,55	1451	1,06	4433	0,703	4224
1,54	1493	1,05	4523	0,702	4245
1,53	1535	1,04	4615	0,701	4265
1,52	1578	1,03	4708	0,700	4285

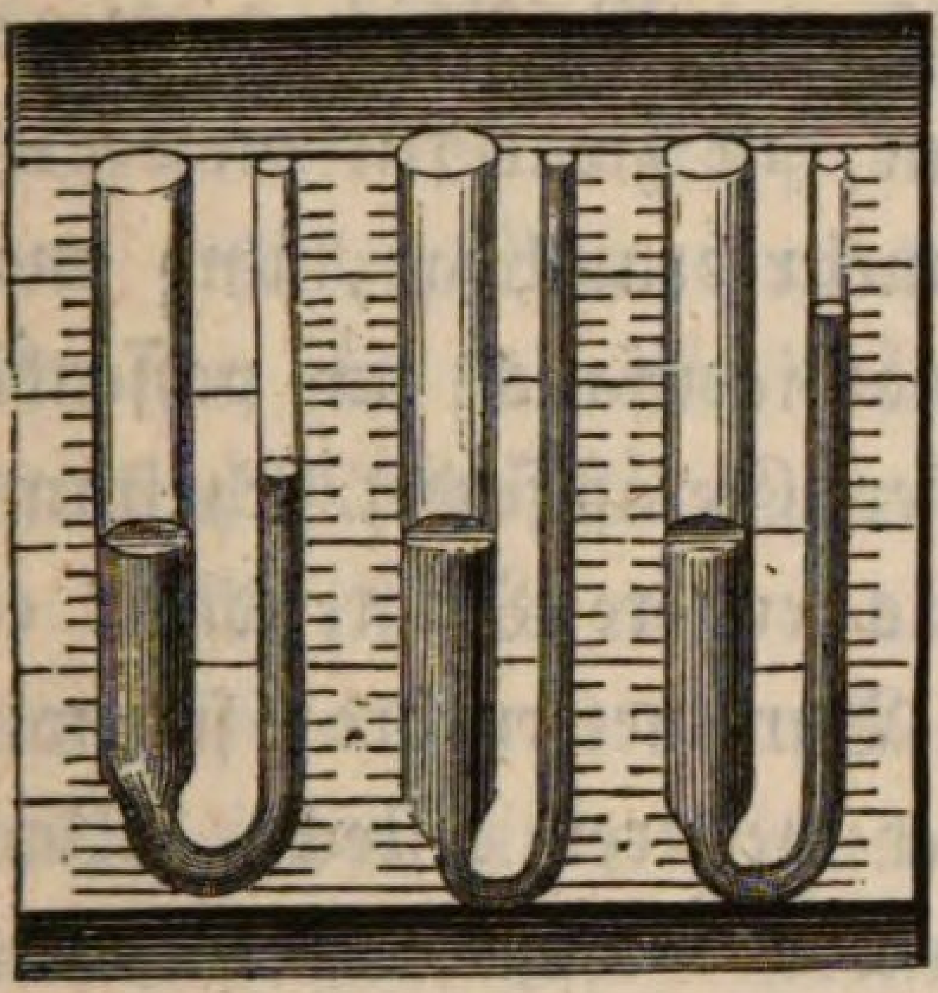
Tabelle für die Skale des Alkoholometers nach Tralles.

Grad.	Skalentheile von 2597.	Grad.	Skalentheile von 2597.	Grad.	Skalentheile von 2597.
0	9	34	420	68	1184
1	24	35	434	69	1215
2	39	36	449	70	1246
3	54	37	465	71	1278
4	68	38	481	72	1310
5	82	39	498	73	1342
6	95	40	515	74	1375
7	108	41	533	75	1409
8	121	42	551	76	1443
9	133	43	569	77	1478
10	145	44	588	78	1514
11	157	45	608	79	1550
12	169	46	628	80	1587
13	180	47	648	81	1624
14	191	48	669	82	1662
15	202	49	690	83	1701
16	213	50	712	84	1740
17	224	51	735	85	1781
18	235	52	758	86	1823
19	245	53	782	87	1866
20	256	54	806	88	1910
21	266	55	830	89	1955
22	277	56	854	90	2002
23	288	57	879	91	2050
24	299	58	905	92	2099
25	310	59	931	93	2150
26	321	60	957	94	2203
27	332	61	984	95	2259
28	344	62	1011	96	2318
29	355	63	1039	97	2380
30	867	64	1067	98	2447
31	380	65	1096	99	2519
32	393	66	1125	100	2597
33	407	67	1154		

61 **Haarröhrchen Erscheinungen.** Am besten eignen sich zur Darstellung der Fundamentalerscheinungen communicirende Glasröhren wie Fig. 76 (a. f. S.), deren weiterer Schenkel etwa einen halben Zoll im Lichte mißt; die daran geschmolzenen Haarröhrchen haben verschiedene Weite und zwar von 2 Linien bis zur Feinheit der Thermometerröhren, in etwa 4 Abstufungen für wässerige Flüssigkeiten und ebenso viele für Quecksilber. Die zusammen gehörigen werden auf ein Brettchen befestigt, das eine Eintheilung in Zoll und Linien für jede Röhre hat. Als wässerige Flüssigkeit dient am besten eine stark blaue, wie etwa Kupferoxydammoniak oder Indigolösung; welche davon aber genommen wird, so müssen jedesmal die Röhrchen nach dem Versuche mit reinem Wasser oder mit Weingeist gewaschen werden, weil diese farbigen

Flüssigkeiten bei der Verdunstung ihre Farbe zurücklassen, was die Röhrchen bald unbrauchbar macht. Die für Quecksilber bestimmten Röhrchen kann man ein für alle mal damit gefüllt lassen.

Fig. 76.



Zu den Versuchen mit Glasplatten läßt man sich zwei Paare aus Stücken von Spiegelglas zuschneiden von etwa 3 — 4 Zoll Länge auf 2 — 3 Zoll Breite, und schleift deren Kanten ab. Man richtet sodann vier gleichdicke kleine Stückchen Messingblech, die man an die vier Ecken zwischen das eine Paar legt, um parallele Platten zu erhalten.

Vier andere Stückchen Messingblech, wovon zwei aus dem allerdünnsten genommen werden, zwei aber bis 1 Linie dick sind, dienen dazu, um dem andern Plattenpaare eine geneigte Lage zu geben. Beide Paare werden dann mit gewichstem Bindfaden ein paar Mal in der Mitte umschlungen. Als Flüssigkeit benutzt man dieselbe, welche für die Röhrchen gerichtet wurde. Auch diese Platten nimmt man nach dem Gebrauche auseinander, reinigt sie und richtet sie gleich wieder für den nächsten Versuch zu. Auf ganz besondere Reinigung hat man hier zu sehen, denn wenn die Platten auch nur etwas schmutzig sind, so bildet die Flüssigkeit bei den parallelen Platten keine gerade Linie und bei den geneigten keine reine Hyperbel mehr.

Um den Versuch über Anziehung und Abstoßung schwimmender Kugeln zu machen, dienen am besten Kugeln von 3 — 4 Linien Durchmesser aus Wachs und Glas. Auf Wasser gelingt der Versuch unfehlbar; um aber auf Quecksilber denselben darzustellen, sinken gläserne Kugeln lange nicht tief genug ein. Am besten ist es, wenn man gläserne Kugeln beinahe zur Hälfte mit Quecksilber füllt und dann zuschmilzt. Außerdem muß das Quecksilber eine sehr reine Fläche haben.

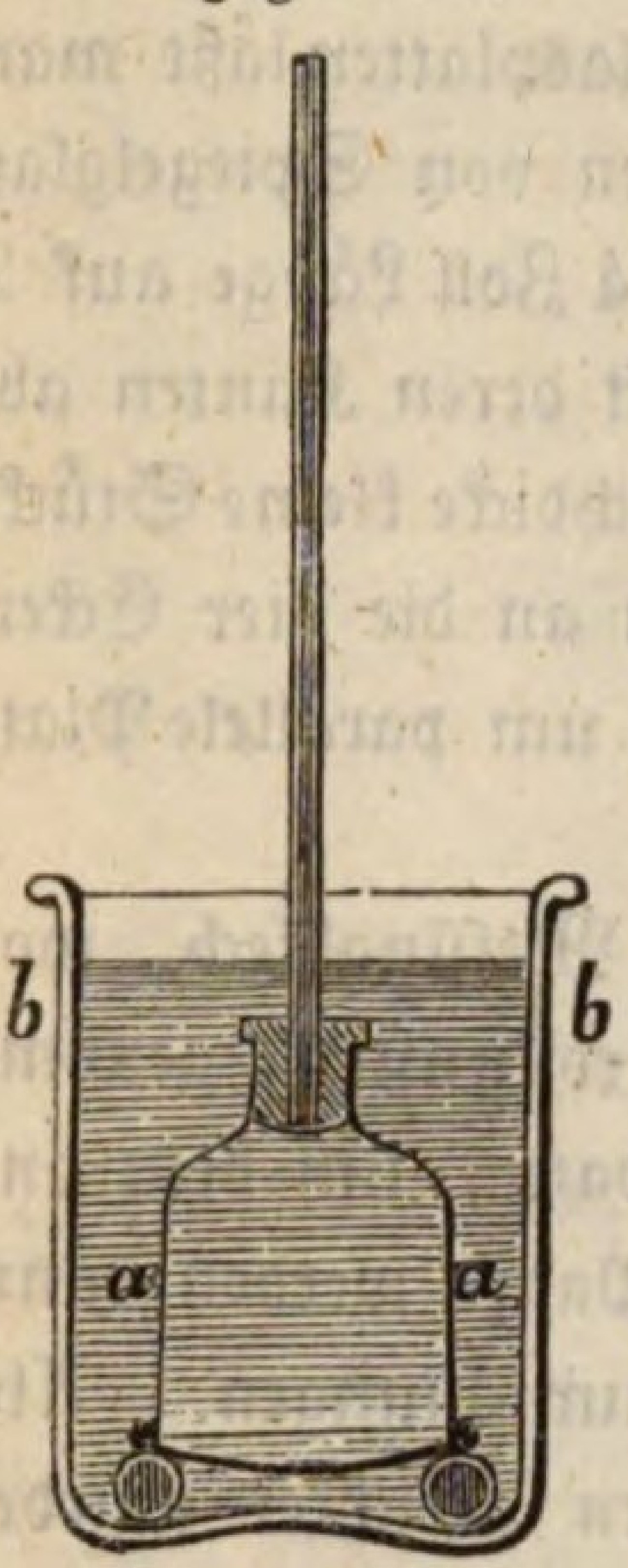
In dem Versuche über die Anziehung, welche sich zwischen eingesenkten Platten zeigt, dienen dünne Platten von Glas oder Glimmer, welche man mittelst Wachs an Fäden aufhängt; sollen sie nicht naß werden, so darf man nur eine dünne Fettschichte auf dieselben bringen.

Um Nähnadeln, Stecknadeln und dgl. auf Wasser schwimmen zu machen, braucht man dieselben nur ein paar Male durch die Finger zu ziehen, sie erhalten dadurch einen ganz dünnen Fettüberzug, der sie vor dem Naßwerden schützt. Man legt dann dieselben vorsichtig auf das Wasser, und sie zeigen dieselben Erscheinungen, sowohl unter sich, als gegen den Rand des Gefäßes, wie schwimmende Kugeln.

Endosmose. Das innere Gefäß *a a*, Fig. 77 (a. f. S.), sollte an 62
seiner weiten Oeffnung einen etwas umgestülpten Rand haben, oder doch

mindestens eine Strecke lang gleich weit sein, um eine Blase fest auf dasselbe binden zu können. Man erhält hierzu sehr zweckmäßige Gläser

Fig. 77.



aus unbrauchbar gewordenen Platinzündmaschinen (in Folge dieser Verwendung findet man sie auch manchmal bei Glashändlern); ein Gefäß aus Weißblech, das man mit Oelfarbe anstreichen kann, ist zwar für viele Versuche aber doch nicht allgemein brauchbar, und man wird daher besser thun, nöthigenfalls ein passendes Glas zu bestellen. Das äußere Gefäß findet sich immer in entsprechender Form. Als engere Röhre dient ein Stück einer etwas weiten Barometerröhre; sie wird durch Kork in den Hals der weiteren gesteckt. Beim Versuche setzt man das innere Gefäß auf ein paar Stückchen einer etwas dicken Glasröhre und macht durch Zugießen der inneren Flüssigkeit den Stand in beiden Gefäßen gleich hoch, wobei sich leichter eine Wirkung wahrnehmen läßt. Als innere Flüssigkeit ist die ohnehin zu elektrischen Versuchen vorräthige concentrirte Kupfervitriollösung ihrer Farbe wegen zu empfehlen, als äußere Wasser.

Für einen Versuch mit Schwefelsäure und Wasser sind die bei den constanten galvanischen Ketten gebräuchlichen Thonzellen sehr zweckmäßig; man braucht sie nur in ein Glasgefäß zu stellen und von den beiden Flüssigkeiten, die eine in die Thonzelle, die andere außerhalb derselben einzufüllen.

C. Versuche über elastisch-flüssige Körper.

63 **Der Versuch von Toricelli.** Zur vorläufigen Erläuterung dieses Versuches gießt man Quecksilber in einen etwas hohen Glascylinder und stellt eine beiderseits offene und so weite Glasröhre hinein, daß die Wirkung der Capillarität verschwindet. Auf das äußere Quecksilber gießt man dann Wasser, dessen Druck das Quecksilber in der Röhre steigen macht. Da das gleiche für jede Flüssigkeit erfolgen müßte, so muß das Quecksilber in der Röhre höher stehen, wenn in der Röhre keine, wohl aber außerhalb atmosphärische Luft auf dem Quecksilber liegt.

Zu dem Versuche von Toricelli selbst nimmt man 76—80 Centimeter lange, und etwa 2 Linien weite Glasröhren, die man einerseits zuschmilzt; sie müssen rein sein und daher von einer Zeit zur anderen verstopft aufbewahrt werden. Hat das Quecksilber Schmutz darin zurückge-

lassen, oder sind sie sonst unrein geworden, so müssen sie entweder durch neue ersetzt werden, oder man muß die zugeschmolzene Seite öffnen und die Röhre sorgfältig auswischen, indem man mittelst eines umgebogenen Drahtes ein Stück reines weiches Fließpapier wiederholt durchzieht. Sind nämlich die Röhren unrein, so bleibt viel Luft an den Wänden der Röhre hängen und diese steigt dann in Blasen auf, sobald man die mit Quecksilber gefüllte Röhre umkehrt und in das Quecksilbergefäß stellt. Als Gefäß dient ein so weites Trinkglas, daß man die mit dem Zeigefinger verschlossene Röhre gut unter das Quecksilber bringen kann.

Die Röhre wird durch einen aus Schreibpapier nach der in §. 43 angegebenen Weise gedrehten Trichter gefüllt, oder es muß das Quecksilber vorher durch einen solchen Trichter gereinigt werden, in welchem Staub und Orydhäutchen fremder Metalle zurückbleiben. Noch besser reinigt man das Quecksilber durch Schütteln mit verdünnter Salpetersäure, wobei man freilich auch Quecksilber verliert, das Quecksilber wird nachher durch Schütteln mit Wasser gewaschen und mit Fließpapier getrocknet.

Ist die Röhre bis auf etwa 5 Linien gefüllt, so verschließt man sie mit dem Finger und läßt die so eingeschlossene Luftblase durch Umkehren der Röhre ein oder zweimal durch die ganze Röhre laufen, um einzelne kleine an der Röhre hängende Luftblasen zu sammeln. Die Röhre wird nun aber voll gemacht, mit dem Finger verschlossen und in das Quecksilbergefäß umgekehrt. Wegen der Anwendnung des abgekürzten Barometers u. s. w. macht man denselben Versuch auch noch mit einer Röhre, welche weniger als 76 Centimeter lang ist.

Das Quecksilber für solche Versuche bewahrt man besonders auf, weil dasjenige, welches so im Allgemeinen und namentlich für elektrische Versuche gebraucht wird, bald mit fremden Metallen verunreinigt ist.

Das Barometer. Barometer gehören zu den Instrumenten, die 64
man besser kauft als selber macht. Gewöhnliche nicht ausgekochte Barometer sind nämlich wohlfeiler zu kaufen, als man sie selber machen kann; gute Barometer aber zu machen, das erfordert ziemlich viele Uebung, so wie die Anfertigung der Skale auch eine gute Theilmaschine voraussetzt.

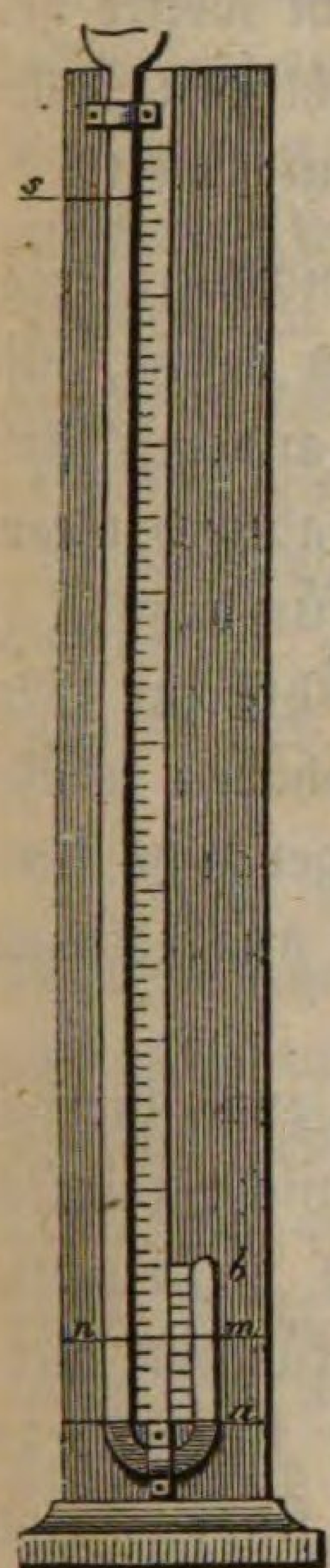
Für die Demonstration wird es immerhin gut sein, wenn man außer einem gewöhnlichen Gefäßbarometer auch ein einfach gearbeitetes Heberbarometer besitzt, dessen kürzerer Schenkel nahe bei der Biegung etwas verengt ist, um ihn durch ein mit Baumwolle umwickeltes Stäbchen verschließen zu können. Kann man auf ein Barometer so viel Geld verwenden, daß man ein zu genaueren Beobachtungen brauchbares Instrument anschaffen kann, so wird es am zweckmäßigsten sein, ein Reisebarometer anzuschaffen. Welche Eigenschaften ein gutes Barometer haben müsse, findet man in jedem Lehrbuche der Physik verzeichnet.

Sollte man aber, entweder weil an einem sonst werthvollen Barometer die Röhre gebrochen ist, oder zu irgend einem anderen Zwecke in den Fall kommen, eine Barometerröhre auskochen zu müssen, so wähle man eine solche, welche nur mäßig starke Wände hat und reinige sie vor dem Zuschmelzen sehr gut. Man erhitze sodann die erforderliche Menge Quecksilber in einer Porzellanschale bis zum Kochen, erwärme auch die Röhre ihrer ganzen Länge nach und fülle etwa zwei Zoll noch heißes Quecksilber in dieselbe durch einen Papiertrichter. Der gefüllte Theil der Röhre wird nun von unten an unter fleißigem Umdrehen über der Weingeistlampe erhitzt, bis das Quecksilber darin kocht; man hält dabei die Röhre ziemlich wagrecht, und stellt die Lampe auf einen flachen, etwas großen Porcellanteller, um bei möglichem Zerspringen der Röhre kein Quecksilber zu verlieren. Uebrigens ist bei vorsichtigem Erhitzen diese Gefahr nicht groß. Man erwärmt nun die Röhre wieder der ganzen Länge nach, füllt eine neue, gleich große Portion heißes Quecksilber ein und fängt mit dem Auskochen etwas unterhalb der Stelle an, wo man vorhin aufgehört hat. Auf diese Weise fährt man fort, bis die Röhre auf etwa 5—6 Linien gefüllt ist; den Rest der Röhre füllt man nur mit heißem Quecksilber an. Um den Hals des Gefäßes bindet man dann eine mittelst Kleister zusammengepappte, unten abgeschnittene Papierdüte als Trichter, und füllt das Gefäß nebst einem Theile der Düte mit gereinigtem Quecksilber, worauf man die übervolle Röhre mit dem Finger verschließt, sie in die Düte umkehrt, öffnet und in das Gefäß steckt. Nach Entfernung der Düte gießt man auch aus dem Gefäße das überflüssige Quecksilber aus und läßt nur so viel zurück, daß dasselbe bis an das Null der etwa schon vorhandenen Skale reicht, wenn das Gefäß an seinem Platze ist. In dem Halse des Gefäßes kann man die Röhre durch Korkstücke feststecken, oder durch einen vorher an die Röhre gesteckten ganzen Kork, doch muß letzterer seitlich einen Einschnitt haben, um der Luft Zutritt zu lassen.

65 **Das Mariotte'sche Gesetz.** Um dieses Gesetz für die Verdichtung nachzuweisen, kann man sich eine wenigstens 4—6 Zoll vom Ende an gleich weite Glasröhre selbst an diesem Ende zuschmelzen und heberförmig umbiegen, so daß der zugeschmolzene Theil den kürzeren Schenkel bildet. Diese Röhre wird mittelst gebogenen Messingstreifchen und Holzschräubchen auf ein Brettchen, wie Fig. 78 (a. f. S.), befestigt, nachdem man vorher einen darauf geleimten Papierstreifen in Zolle und Linien getheilt, von unten an beziffert und mit gebleichtem Schellack gefirnißt hat. Eine solche Röhre braucht nicht gerade lang zu sein, 30 bis 36 Zoll sind genug, da sich das Gesetz durch Rechnung zeigen läßt, ohne daß man den Druck stets um ganze Atmosphären steigert. Will man dieses aber, so kann man

leicht einige starke Glasröhren dadurch vereinigen, daß man sie mit Siegellack in zolllange eiserne Hülsen einkittet.

Fig. 78.



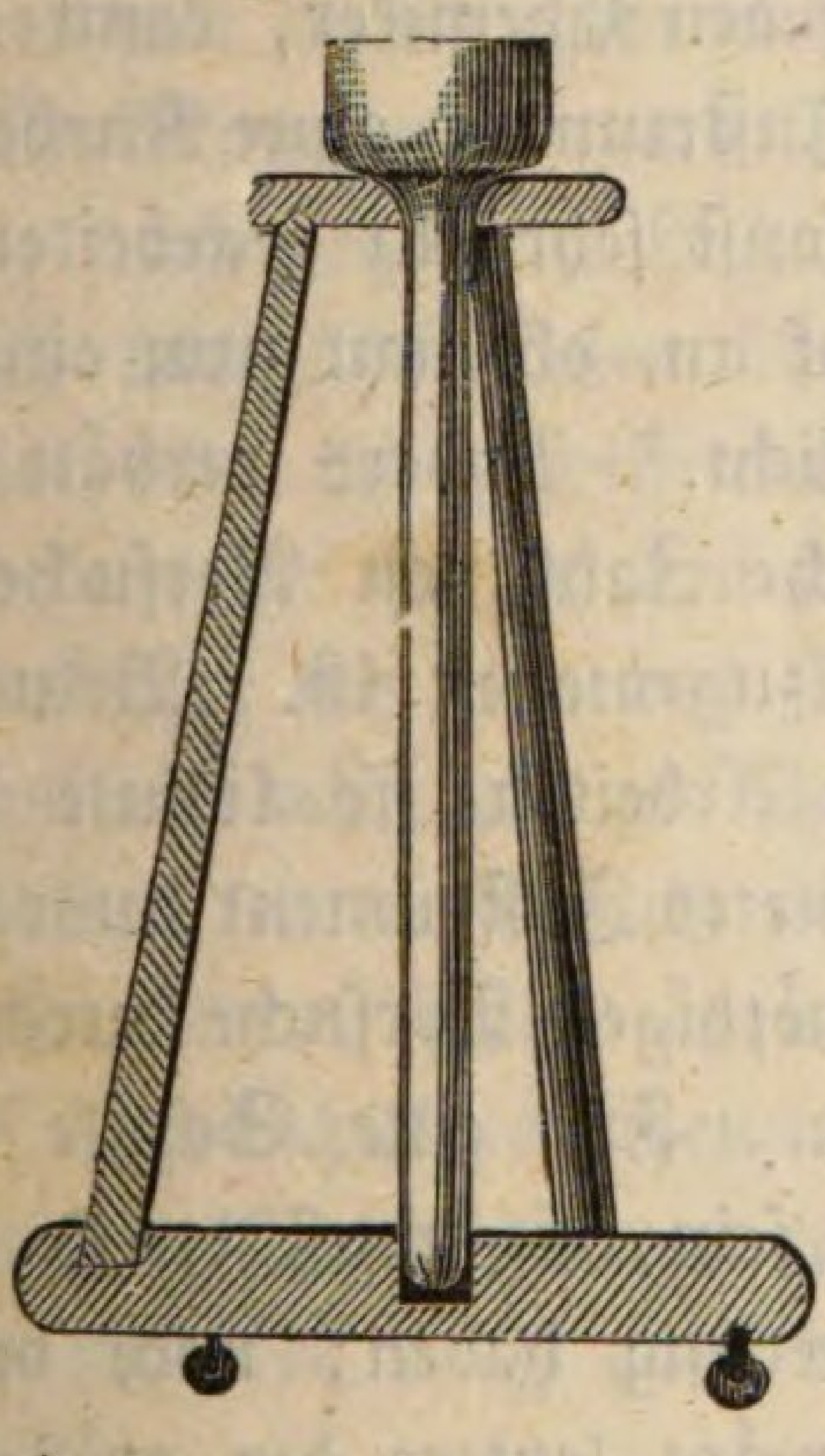
Bei dem Versuche selbst bringt man zuerst nur so viel Quecksilber in die Röhre, daß der gebogene Theil derselben gefüllt wird, und sucht durch wiederholtes Neigen und Aus- oder Einlassen kleiner Luftblasen in den verschlossenen Schenkel das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch zu bringen, etwa bis *a* Fig. 78, welcher Stand notirt wird. Nun wird in den längeren Schenkel eine beliebig hohe Quecksilbersäule *ns* eingegossen; ist dadurch das Quecksilber im verschlossenen Schenkel bis *m* gestiegen, also die Luft von *ab* auf das Volumen *mb* zusammengedrückt, und ist *B* der augenblickliche Barometerstand, so wird stets $ab : mb = B + ns : B$. Läßt es die Länge der Röhre zu, so kann man immer um ganze Atmosphären mit dem Drucke fortschreiten und dadurch das Volumen der Luft auf $1/2$ und $1/3$ reduciren, wozu es denn bequem ist, wenn das ursprüngliche Volumen eine durch 2 und 3 theilbare Zahl von Zollen beträgt.

Um dasselbe Gesetz für die Verdünnung nachzuweisen, nimmt man gewöhnlich eine etwa 2 Centimeter weite und etwa 70 Centimeter hohe Glasröhre, welche einerseits verschlossen, andererseits trichterförmig erweitert ist, Fig. 79. Man kann eine solche Röhre billig aus jeder Glashütte bekommen; sie wird in einen soliden hölzernen Fuß gekittet, um sie vor dem Umstoßen möglichst zu sichern, oder in ein Gestelle gebracht, wie Fig. 80 im Durchschnitte zeigt. Die obere Erweiterung ist jedoch nicht durchaus nöthig, sie ist nur bequem, damit sich beim Versuche der Stand des Quecksilbers nicht wesentlich ändert. Jede hinreichend weite Glasröhre kann zum Versuche dienen, selbst wenn man nicht im Stande wäre, sie an einem Ende zuzuschmelzen. Man bohrt in einen, allenfalls abgedrehten Holzblock ein entsprechendes Loch und stellt die Glasröhre hinein, oder kittet sie mit Siegellack hinein, wenn sie nicht zugeschmolzen ist; in letzterem Falle muß aber auch der Boden des Loches verkittet werden. Die enge Glasröhre, welche beim Versuche gebraucht wird, schleift man auf einer Seite

Fig. 79.



Fig. 80.



eben und theilt sie dann von da aus in Zolle, indem man die Striche mit Tusch aufträgt. Beim Versuche steckt man sie in die weite, mit Quecksilber gefüllte Röhre, so daß nur noch einige ganze Zolle aus dem Quecksilber hervorragen, verschließt sie mit dem Finger und zieht sie nun weiter heraus, bis die Luft in der Röhre wieder eine beliebige ganze Zahl von Zollen einnimmt, worauf man die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule mißt.

Sowohl bei dieser Vorrichtung, als bei jener zur Verdichtung trägt man dieselbe Skale auf, welche das Barometer hat, das man besitzt, also wohl gewöhnlich Pariser Zolle, denn beim einen wie beim anderen Versuche muß es verglichen werden und man erspart sich also dadurch unangenehme Reductionen. Selbst wenn man sich einen Apparat für das Mariott'sche Gesetz vom Mechanicus bestellt, wo dann die Röhre zur Verdichtung so hoch ist, daß sie einen Druck von 2 — 3 Atmosphären zuläßt, und zur bequemen Entleerung überall stählerne Hahnen angebracht sind, muß man sich die Skale, die das Instrument haben soll, stets ausbedingen.

66 **Von der Luftpumpe; Anschaffung derselben.** Wenn hierbei, wie es aber leider meistens der Fall ist, die Geldverhältnisse nicht gänzlich hindernd entgegen treten, so schaffe man sich gleich ein gutes Instrument an; die Luftpumpe ist für den Unterricht eben so wohl, wie für den Liebhaber, eines der wichtigsten Instrumente, und man würde sich nur zu bald zur Anschaffung eines besseren Instrumentes veranlaßt finden, was dann häufig nicht mehr möglich ist.

Für den Liebhaber, so wie für den Chemiker, kann eine sogenannte Handluftpumpe, d. h. ein kleines Instrument ohne Kurbelbewegung und ohne Selbststeuerung, wenn sie nur sonst sehr gut gearbeitet ist, recht wohl genügen; es kommt hier nicht darauf an, ob man zum einzelnen Versuche etwas mehr oder weniger Zeit braucht. Anders verhält es sich in der Schule, weil man hier eine ziemliche Zahl von Versuchen durchmachen sollte und die Zeit gewöhnlich knapp zugemessen ist. Brauchte der Lehrer die Luftpumpe nicht auch zu eigenen Arbeiten, so könnte dagegen in der Schule auch ein weniger gut gearbeitetes Instrument ausreichen, da nämlich die für den Unterricht wirklich nöthigen Versuche durchaus keinen hohen Grad der Verdünnung erfordern. Für eine Schule darf daher der Stiefel der Luftpumpe nicht zu klein sein, sie muß durch Zahn und Getriebe bewegt werden und Selbststeuerung haben; noch besser wäre eine zweistieflige Luftpumpe, und zwar wäre letztere der größeren Dauerhaftigkeit wegen einer doppelt wirkenden einstiefligen vorzuziehen.

Was nun die Construction im Allgemeinen betrifft, so handelt es sich zuerst um die Wahl zwischen Hahn- und Ventil- oder Stöpselluftpumpe.

Eigentliche Ventilluftpumpen werden für physikalische Zwecke wohl keine mehr angefertigt, dagegen leisten die Stöpselluftpumpen in Verbindung mit einem Babinet'schen Hahne Ausgezeichnetes. Wo es sich daher um Versuche handelt, welche die möglichste Verdünnung erfordern, sind nur diese Instrumente zu empfehlen, oder noch mehr Instrumente mit dem Graßmann'schen Hahne, da letzterer den Vortheil hat, daß das mit ihm versehene Instrument auch zum Comprimiren gebraucht werden kann. Letzteres hat aber nur für die Schule zu einigen Demonstrationen Werth, und giebt daher allerdings für Hahnluftpumpen den Ausschlag, wenn man nicht für die Compressionsversuche eine eigene Maschine ankaufen kann. Der Gebrauch der Luftpumpe zum Cromprimiren ist aber ein sehr beschränkter, und hat daher, außer für den Unterricht, weiter keinen praktischen Werth.

Was die Hahnen selbst betrifft, so sollte ihr Kern bei mehrfacher Durchbohrung nie gar zu klein genommen werden, an der Basis des Kegels nicht unter einem halben Zolle Durchmesser. Die Schlußfläche wird sonst zu klein. Solche kleine Hahnen sind wohl in mehrfacher Beziehung leichter zu arbeiten, schließen neu auch recht gut, sind aber schneller abgenutzt; sie ertragen auch nur eine ganz feine Bohrung, wodurch das Durchgehen der Luft erschwert wird, namentlich wenn, wie fast unvermeidlich, auch noch etwas Fett hineinkommt; außerdem können sie wegen der kleinen Bohrung nicht so gut nachgesmirgelt werden, wenn sie einmal Noth gelitten haben. Anders ist es freilich bei jenen Hahnen, die nur einfach gebohrt sind, oder nur wenig gebraucht werden, wie die Sperrhahnen der Probeglocken für Manometer- und Barometerprobe, so wie für den Teller. Daß aber diese letzteren Hahnen vorhanden seien, ist sehr nöthig; denn nur durch das Abschließen der Probeglocken kann die Barometer- oder Manometerprobe bei gewissen Versuchen vor Schaden bewahrt werden, und ein besonderer Hahn zum Verschluß unter dem Teller ist für alle jene Versuche nöthig, wo man das Vacuum einige Zeit erhalten will, da der Steuerungshahn nach einiger Zeit bei dem unaufhörlichen Hin- und Herdrehen desselben seinen Schluß nicht erhalten kann. Auch zum Luftzulassen ist dieser zweite Hahn bequem, wenn er doppelt durchbohrt ist. Daß der Griff dieses Hahns, wenn der Teller nahe an den Tisch des Instruments zu liegen kommt, etwas lang sein müsse, ist für sich klar, wenn man die Bequemlichkeit nicht ganz bei Seite setzen will.

Hat die Luftpumpe eine besondere Probeglocke für das Manometer, so muß das Quecksilbergefäß von Eisen sein, oder von Glas; wäre es von Messing, so müßte es dick mit Siegellacklösung bestrichen werden, da der

gewöhnliche Schellackfirniß stets Risse bekommt, durch welche dann das Quecksilber hindurch auf das Metall gedrückt wird und dieses zerfrißt.

Was den Teller betrifft, so muß man darauf sehen, daß derselbe mit Glas belegt und nicht unter 0,2 Meter breit sei. Das Ende der Communicationsröhre muß ein Gewinde haben und entweder über den Teller hervorstehen, oder das Glas muß weiter ausgebohrt sein, damit das Gewinde über die Messingplatte hervorstehe; dadurch wird verhütet, daß Quecksilber, Wasser u. dgl. in das Innere der Luftpumpe kommen. Sehr häufig trifft man Luftpumpen, bei welchen der Teller unmittelbar auf dem Stiefel sitzt, und die Stange nach unten ausgezogen wird; abgesehen davon, daß hier kein Raum für einen zweiten Hahn zum Absperren übrig bleibt, sind die unter dem Recipienten befindlichen Gegenstände den Erschütterungen beim Auspumpen gar zu stark ausgesetzt.

In Bezug auf die Vermeidung des schädlichen Raumes kommt es darauf an, daß die dem Boden des Cylinders zugekehrte Kolbenfläche durch eine daran befindliche kurze konische Warze bis beinahe auf den Kern des Steuerungshahns reiche, und genau auf den Boden des Cylinders eingeschliffen sei, ebenso muß dieselbe seitlich den Cylinder ausfüllen und durchaus nicht enger sein als die Filzscheiben, welche den Kolben bilden. Eine eigene Art von schädlichem Raume sitzt manchmal in fehlerhaft gebohrten Hahnen. Für die gewöhnlichen Constructionen ist wohl der Senguerd'sche Hahn der zweckmäßigste. Ein Ventil vor der nach außen führenden Oeffnung des Steuerungshahns erleichtert die Arbeit des Auspumpens sehr; allein der schädliche Raum wird dann um so schädlicher, da er nun der Federkraft des Ventils entsprechend comprimirte Luft enthält.

Die Kolben werden gewöhnlich aus Filzscheiben gemacht, doch kann man auch massive metallene Kolben so genau einschleifen, daß sie vorzügliche Dienste thun; sie gewähren den Vortheil, daß sie viel leichter gehen, und da sie aus demselben Stoffe bestehen wie die Cylinder, bei jeder Temperatur gleich gut passen. Wie lange sie ihren Schluß bei stärkerem Gebrauche behalten, darüber hat der Verfasser keine Erfahrung.

Die Bewegung der Kolben geschieht bei größeren Luftpumpen immer durch Zahn und Getriebe mittelst einer Kurbel. Diese Kurbel ist bei manchen Luftpumpen — bei zweistiefligen wohl immer — zweiarmig, und in diesem Falle muß das Rad so groß sein, daß die Kolben in weniger als einer ganzen Umdrehung ihren Weg machen, damit man die Hände nicht wechseln darf. Jedenfalls muß das Achsenlager des Rades eine von den Stiefeln unabhängige Befestigung haben. Ueberhaupt muß das ganze Instrument solide auf einer Grundplatte von altem geölten Holze oder Me-

tall erbaut sein, so daß man es im Ganzen auf einen beliebigen Tisch setzen kann.

Keine unwesentliche, aber von den Mechanikern nicht immer beachtete Rücksicht besteht endlich darin, daß die Maschine ohne zu viele Umstände, soweit als zur vollständigen Reinigung erforderlich ist, zerlegt werden könne.

Wenn man eine erhaltene Luftpumpe untersucht, so handelt es sich außer der Construction im Allgemeinen noch besonders darum, ob sie die versprochene Verdünnung an einem ausgekochten Barometer zu leisten vermag, und ob ihr Schluß gut ist. In ersterer Beziehung ist zu bemerken, daß hierbei der Versuch entweder ganz ohne, oder doch nur mit ganz kleinem Recipient zu machen ist; in letzterer Beziehung genügt es, wenn eine unter dem Recipienten gesetzte Barometerprobe ihren Stand beibehält, also der Sperrhahn und der Teller, sowie der Recipient selbst in Ordnung sind, der Steuerungshahn und die Kolben können nur bei ganz neuen Instrumenten [redacted]t sein, daß auch durch sie keine Luft eindringt, wenn man das Instrument stehen läßt.

Behandlung der Luftpumpe. Die Luftpumpe bedarf ihrer Na- 67
tur nach eine sehr sorgfältige Behandlung, wenn sie längere Zeit gute Dienste leisten soll. Vor allem ist Reinlichkeit nothwendig und sie sollte daher alljährlich einmal ganz gereinigt werden und frisches Fett erhalten. Es geschieht dieses am zweckmäßigsten, wenn die Luftpumpenversuche für einen Kurs beendigt sind, und man macht daher lieber gleich mit den eigentlich hierher gehörigen Versuchen auch jenen über das Kochen des Wassers im luftverdünnten Raume und jenen über die Eisbereitung durch Verdunsten des Aethers, weil nach diesen die Luftpumpe fast nothwendig gereinigt werden sollte. Die Reinigung geschieht mit Fließpapier, das man anfänglich mit etwas Lauge befeuchten kann; nachher giebt man den Kolben und Hahnen wieder frisches Fett. Bei den Kolben muß das Fett auf diese und nicht in den Cylinder gestrichen werden, weil im letzterem Falle das Ueberflüssige gegen den Boden des Cylinders getrieben wird und hier das vollständige Anliegen der untern Kolbenfläche hindert, wodurch ein bedeutender schädlicher Raum erzeugt wird, außerdem werden dadurch die Kanäle verstopft. Für die Kolben nimmt man Schweinefett, für die Hahnen kann man Talg oder eine Mischung von diesem und gleichviel Schweinefett nehmen. Die Stangen und Getriebe erhalten Oel. Es ist gut, wenn man das zu verwendende Fett in einem bedeckten Gefäße aufbewahrt und es vor der Verwendung noch mit den Fingern durchgreift, um alle harten Theile zu entfernen.

Kann die Luftpumpe nicht im Glaskasten aufbewahrt werden, so macht man ein darüberpassendes Futteral aus Pappe, um sie vor Staub zu schützen.

Eine nicht unwesentliche Vorsichtsmaßregel zur Erhaltung der Luftpumpe besteht auch darin, daß man es nicht versucht, die Kolben zu bewegen, wenn das Instrument in der Kälte steht, immer muß dasselbe zur Winterszeit einige Zeit vor dem Gebrauche in das geheizte Zimmer gebracht werden.

Bei den Versuchen bestreicht man den abgeschliffenen Rand der Glocken mit einer Talgkerze, doch halten fein geschliffene Glocken auf einem guten Teller auch ohne besonderes Fett.

Das Arbeiten mit der Luftpumpe muß im Anfange langsam geschehen, da die Luft der engen Kanäle wegen Zeit braucht, um sich gleichförmig im ganzen Raume zu verbreiten; das hörbare Zischen der Luft, oder das noch andauernde Sinken der Barometerprobe giebt hierfür schon von selbst ein Maaß ab; wie die Verdünnung fortschreitet arbeitet man dann schneller. Ohne diese Vorsicht arbeitet man sich unnöthiger Weise ab und das Durchmachen einer Anzahl von Luftpumpenversuchen ist ja ohnehin ermüdend genug. Schüler aber, oder ungeübte Gehülfen, haben gewöhnlich nicht die Fertigkeit, eine Kurbel gleichförmig herum zu treiben und stoßweise Bewegungen sind für das Instrument immer sehr nachtheilig.

Man sollte es nie versuchen, einen Recipienten auch nach nur wenigen Zügen von dem Teller wieder zu entfernen, ohne vorher Luft zugelassen zu haben. Es leidet dabei, je nach ihrer Construction, die Luftpumpe selbst und der Recipient wird leicht zerbrochen. Das Entfernen der Recipienten geschieht übrigens immer so, daß man dieselben drehend über den Rand des Tellers hinausschiebt.

Immer wählt man den kleinsten noch brauchbaren Recipienten, zu den Versuchen aus. Recipienten von beliebiger Kleinheit verschafft man sich leicht aus Trinkgläsern mit starkem Boden, deren Rand eben geschliffen wird.

68 **Kleine Reparaturen einer Luftpumpe.** Sollte nach und nach der Schluß der Kolben an einer Luftpumpe nachlassen, so kann sich derselbe durch festeres Anschrauben der beweglichen Platte der Kolben ein und das anderemal wiederherstellen lassen. Die Hahnen müssen, so oft sie herausgenommen wurden, durch die daran befindliche Ziehschraube wieder so fest eingezogen werden, daß sie noch ziemlich leicht bewegt werden können. Die Steurungshahnen müssen leichter gehen als die übrigen; wie leicht die Hahnen gehen müssen, das ist mit Worten freilich nicht zu bestim-

men; allein durch wiederholtes Drehen eines gehörig angezogenen Hahns — etwa wenn die Maschine neu vom Mechanikus kommt, — erwirbt man sich bald das richtige Gefühl hierfür. Sollte die Ziesschraube nicht mehr wirken können, so kann man leicht mit der Feile hier wieder Luft schaffen, ohne am Hahn etwas zu verderben.

Wäre der Hahn aber auf diesem Wege nicht zum Schlusse zu bringen, oder ließe sich der Kolben nicht mehr weiter zusammenpressen, so muß die Maschine an den Mechanikus geschickt werden; nur wenn man im Arbeiten schon sehr geübt wäre, dürfte man es versuchen, mittelst fein geriebenem Bimsstein und Oel einen Hahn nach zu schmirgeln, indem man denselben unter öfterem Herausziehen in seiner Hülse hin und her dreht, bis sich überall ein gleichförmiges Matt zeigt.

Mitunter löst sich die Glasplatte des Tellers von ihrer metallenen Unterlage, in Folge der ungleichen Ausdehnung beider Substanzen durch die Wärme. In diesem Falle schraubt man den Teller ab, erwärmt Glas und Metall, jeden Theil für sich, soweit daß der Kitt gut darauf fließt, bringt das Glas mit etwas starker Papierunterlage auf einen sehr ebenen Tisch und preßt den metallenen Theil mittelst einer hölzernen Schraubzwinge genau concentrisch auf das Glas. Nach dem Erkalten entfernt man den herausgequollenen Kitt mit dem Messer. Wäre frischer Kitt nöthig, so nimmt man Schelllack mit etwa $1/6$ Wachs und $1/6$ Terpenthin.

Läßt der Schluß einer Luftpumpe plötzlich nach, so muß man den Sitz des Uebels aufsuchen. Es läßt sich derselbe sehr oft nur dadurch ermitteln, daß man den Stiefel des Instruments mit Luft füllt, den Hahn zum Comprimiren stellt und das ganze Instrument unter Wasser setzt, während man den Kolben hineintreibt; die aufsteigenden Luftblasen werden den Sitz des Uebels anzeigen und man wird dann auch beurtheilen können, ob man demselben selbst abhelfen könne oder nicht.

Fände sich der Fehler an einer Stelle, welche mit Leder unterlegt ist, so muß man frisches Leder anwenden. Am besten eignet sich hiezu etwas dickes sämischgares Leder, das man mit einer warmen Mischung aus gleichen Theilen Talg und Schweinefett tränkt. Man hält sich ein kleines Stück solchen Leders im Vorrath. Fehlt es an einer Stelle, wo, etwa Glas eingekittet ist, so muß man den Theil abschrauben, erwärmen, das Glas herausnehmen und mit Siegellack frisch einkitten, wobei Glas und Hülse stark erwärmt werden müssen.

Das Glasschleifen und Bohren. Oefter kommt man in den 69
Fall, Glocken oder ähnliche Gegenstände für die Luftpumpe und andere Apparate eben, Glastafeln matt oder überhaupt ein Stück Glas zu irgend

einem Zwecke zurecht schleifen zu müssen. Das Rohschleifen geschieht hier am einfachsten auf einer ebenen alten gußeisernen Platte mittelst Goldsand oder grobem Smirgel und Wasser; das Ebenschleifen geschieht, nachdem das Glas im vollen Wasserstrahle abgespült wurde, auf einer alten Spiegelplatte mittelst geschlämmtem Smirgel und Wasser. Die hierzu verwendeten Eisenplatten und Glasplatten halten freilich nicht lange, da sie — namentlich die Glasplatten — sehr bald concav werden und mit anderen vertauscht werden müssen. Zwei Glasplatten können allenfalls aufeinander wieder mit Sand eben geschliffen werden. Soll das Matt sehr fein werden, so muß man Smirgel in verschiedenen Abstufungen haben, wovon im folgenden Paragraphen die Rede sein soll.

Sollte die Glasplatte des Tellers einer Luftpumpe brechen, so käme es darauf an, ob man einen Glaser hätte, der ein Stück Spiegelglas von der erforderlichen Stärke rund schneiden könnte; der Rand würde dann auf der Eisenplatte abgerundet und die mittlere Oeffnung ließe sich bei jedem Drechsler mittelst einer auf Holz gekitteten Kupfermünze und Oel und Smirgel leicht hineinschleifen.

Schneller und sicherer geschieht aber **das Bohren** der Löcher, wenn man einen eisernen oder lieber kupfernen Ring von $1/2$ Linie Dicke auf die Drehbank an ein Holzfutter so richtet, daß er innen und außen rund läuft und dann auf das Glas eine der inneren Weite des Ringes entsprechende Korkscheibe leimt, welche dem Ringe als Führung dient. Man läßt die Drehbank rasch laufen und trägt fleißig dünnen mit Oel angemachten Smirgelbrei auf; es wird so ein rundes Stück Glas herausgebohrt (so auch werden aus dickem Glase die Stücke für Linsengläser erhalten). Ist das Glas bald durch, so muß man dasselbe mittelst eines ebenen Stückchens von hartem Holze gegen den Ring drücken, und wenn es an einer Stelle bereits durch ist, keinen weiteren Smirgel, wenigstens keinen groben mehr auftragen; letztere Vorsicht ist aber eigentlich nur bei dünnen Glasscheiben nöthig. Löcher von nur 2 — 3 Linien Durchmesser bohrt man auf gleiche Weise mit kupfernen Zäpfchen, und Löcher unter einer Linie werden mittelst eines dreikantigen, unter einem Winkel von etwa 60^0 zugespitzten harten stählernen Stiftes unter Befeuchtung von Terpenthinöl durchgebohrt. Man kann hier schon sehr bequem den Drehbogen der Uhrenmacher anwenden; namentlich bei diesen kleineren Löchern muß man vorsichtig drücken, wenn einmal eine Oeffnung entstanden.

An einer Drehbank läßt sich auch die Vorrichtung anbringen, um eine größere Scheibe, die sich an dem vorerst durchgebohrten Loche um einen hölzernen Zapfen horizontal dreht, mittelst einer kleinen Kupferscheibe und Smirgel nach und nach rund herauszuschneiden.

Sollen Glasplatten matt geschliffen werden, so geschieht dieses am

besten auf einer andern Glasplatte mit Wasser und Smirgel, sind die Platten schon eben, ist es also Spiegelglas, so nimmt man sogleich vom feinsten Smirgel, wenn das Matt ein feines werden soll.

Soll ein Glas nur auf der Kante geschliffen werden, so schleift man immer zuerst die Ecken ein wenig ab, um das Ausspringen zu verhüten.

Bereitung des Smirgels. Im Handel findet man Smirgelpul- 70
ver, allein es ist das gröbere von dem feinern nicht getrennt, und man muß dieses immer erst durch Schlämmen selbst bewirken. Zu diesem Zwecke rührt man den käuflichen Smirgel mit etwa zehnmal so viel Wasser tüchtig zusammen, ohne aber das Wasser dabei in kreisförmige Bewegung zu versetzen und gießt sogleich das Wasser von dem Bodensatze in ein anderes Gefäß ab; aus diesem gießt man es nach etwa 3 — 5 Minuten abermals vom Bodensatze ab in ein drittes Gefäß, wo man entweder den Rest absetzen läßt oder nach 5 — 10 Minuten nochmals abgießt. Man erhält so 3 — 4 verschiedene Sorten Smirgel, unter deren ersten sich aber sehr oft auch Streusand befindet, der betrügerisch dem Smirgel beigemengt wird; sie werden auf Fließpapier gesammelt, getrocknet und mit der gehörigen Aufschrift versehen aufbewahrt.

Versuche mit der Luftpumpe. 1) Der Recipient sitzt durch den 71
Druck der Luft fest auf dem Teller, wobei indessen zu bemerken ist, daß die wenigsten Constructionen es erlauben, dieses durch Jederman selbst versuchen zu lassen.

2) Die Magdeburger Halbkugeln sind hiefür geeigneter. Man stellt den Versuch mit ihnen am besten so an, daß man mittelst eines Hakens an den Halbkugeln ein Gewicht hebt, daß nicht im Stande ist dieselben aus einander zu reißen, dessen Größe also vorher ermittelt wird. Durch Leute an den Halbkugeln zerren zu lassen, ist zu umständlich und giebt am Ende doch keine so deutliche Anschauung, auch kann es beim plötzlichen Losgehen der Halbkugeln zu Beschädigungen führen. Die gut aufeinander geschliffenen Ränder der Halbkugeln werden vor dem Versuche mit einer Talgkerze bestrichen.

3) Das Blasensprengen. Soll dieser Versuch sicher gehen, so muß eine frische, eben erst stark aufgeblasene Schweinsblase recht straff über einen 2—4 Zoll weiten Ring von Glas oder Metall gespannt und darauf getrocknet werden. Der Ring selbst muß hierfür einen verdickten oder, wenn er von Glas ist, einen umgelegten Rand haben und auf der andern Seite gut eben geschliffen sein. Unmittelbar vor dem Versuche wird die Blase über Feuer — im Winter auf dem Ofen — scharf getrocknet; ohne letztere Vorsicht wird der Versuch leicht mißglücken. Auch eine dünne Glasplatte kann auf demselben Ringe gesprengt werden, wenn sie eben

genug ist, um mit Fett luftdicht auf dem Ringe zu schließen. Bei diesen Versuchen darf man nicht versäumen die Barometerprobe durch den Hahn abzusperren, weil letztere beim plötzlichen Luftzutritt, leicht verdorben werden könnte. Nimmt man Glas, so muß wie bei Nr. 8 und 17 der Teller mit einem Stücke Filz bedeckt werden, damit keine Splitter in das Instrument gelangen können.

4) Das Barometer sinkt unter dem Recipienten der Luftpumpe beim Ausziehen. Man verfertigt sich für diesen sehr instructiven Versuch einen hohen engen Recipienten Fig. 81, aus einem gläsernen Trichter und einer mit dem Rohre des Trichters ohngefähr gleich weiten, einerseits zugeschmolzenen Glasröhre; man läßt nämlich vom Blechner oder besser vom Gürtler, wenn man nicht selbst hart löthen kann, einen zolllangen Ring von Blech machen, in welchen die beiden Glasstücke passen, und kittet sie unter vorherigem Erwärmen, bis Siegellack auf ihnen zerfließt, in den Ring so tief hinein, daß Glas an Glas steht. Der Trichter wird sodann unten wohl eben geschliffen. Als Barometer kommt darunter eine Toricelli'sche Röhre ohne Skale, die man durch Kork in ein kleines Gläschen voll Quecksilber steckt, Fig. 82. Das Quecksilber wird sodann bis auf das Nöthigste aus dem Gläschen ausgegossen, bevor man den vorher an die Röhre gesteckten Pfropf in die Oeffnung schiebt, damit beim Sinken des Barometers das Quecksilber aus der Röhre gehörig Raum finde, weswegen diese nicht zu weit sein darf. Man nimmt eine neue, noch sehr reine Glasröhre dazu, und läßt dann den Apparat beisammen für diesen Versuch. Auch hier muß man beim Wiederzulassen der Luft vorsichtig sein.

Fig. 81.



Fig. 82.



5) Holz ist specifisch schwerer als Wasser. Will man dieses durch die Luftpumpe zeigen, so muß man das dazu bestimmte Stückchen Holz in einem Trinkglase durch ein Gewicht unter Wasser halten, dann, wenn es nicht sehr porös ist, ziemlich anhaltend auspumpen und nach dem Luftzulassen noch einige Zeit warten, bis wirklich der atmosphärische Druck das Wasser in die Poren des Holzes gepreßt hat. Je öfter aber ein Stückchen Holz zu diesem Versuche gedient hat, desto leichter geht derselbe damit.

6) Der Schall einer Glocke verschwindet, so wie der Recipient leerer wird. Dieser Versuch wird entweder durch ein Weckerwerk, welches unter

einem Recipienten mit Stopfbüchse sich befindet, oder durch eine frei darunter aufgehängte Glocke angestellt. Im ersteren Falle kann man das Werk mittelst des Stieles der Stopfbüchse angehen lassen, und wieder anhalten, im letzteren durch einen an den Stiel gesetzten Querarm die Glocke erschüttern. In beiden Fällen mißglückt der Versuch, wenn sich der Schall durch die festen Theile fortpflanzen kann. Man muß daher das Weckerwerk auf lockere Bündel von feinem Hanfe stellen und zum Aufhängen sich gänzlich aufgedrehter hanfener Schnüre bedienen.

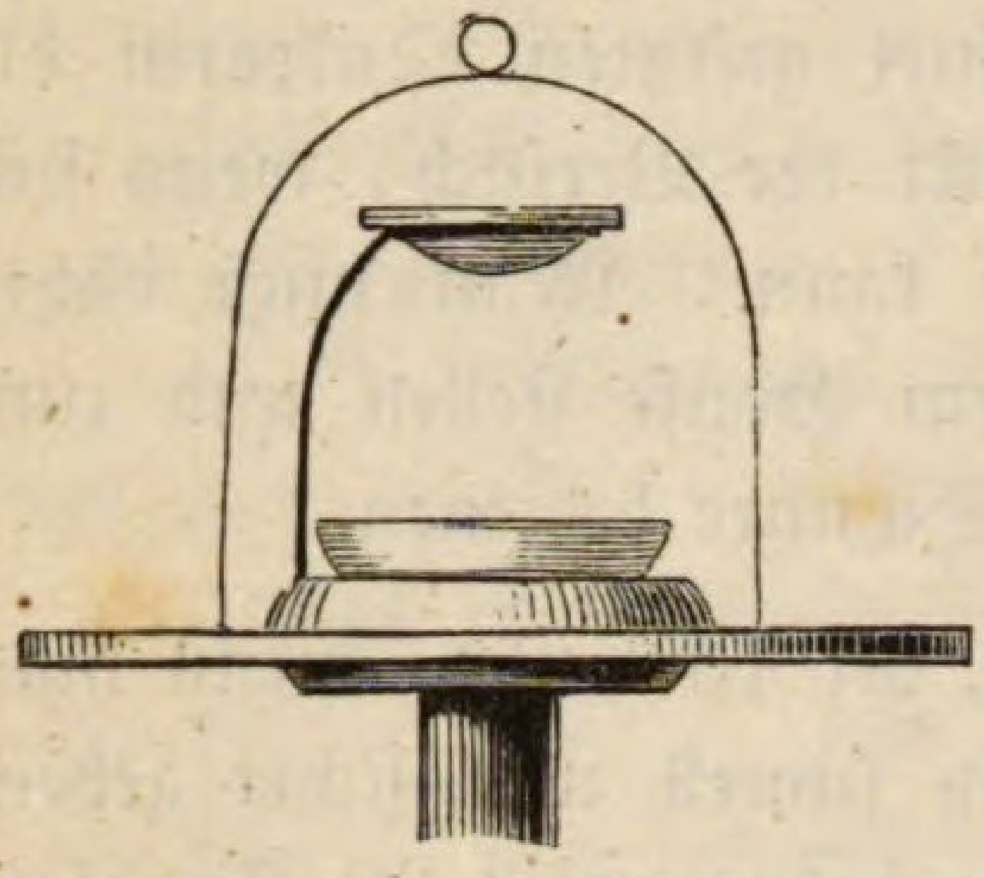
7) Wasser kocht bei niedriger Temperatur, bei 40° etwa, wenn man den Druck der Luft entfernt. Soll der Versuch schnell und sicher gehen, so wähle man einen kleinen Recipienten und ein hohes enges Wassergefäß. Ist der Recipient zu groß, so bewirkt der Kolben nicht bei jedem Zuge eine hinreichende Entfernung der gebildeten Wasserdämpfe, deren eigener Druck das Aufkochen des Wassers hindert, daher dieses überhaupt nur während des Ausziehens stattfindet. Ist das Wassergefäß zu weit, so entstehen so viel Dünste auf der Oberfläche des Wassers, als der Kolben entfernt, und es bilden sich keine im Innern des Wassers, es kann also wieder kein Aufkochen entstehen. Aether verdampft noch viel leichter. Füllt man daher eine einerseits zugeschmolzene, einige Zoll lange Glasröhre mit Wasser, auf welches einige Tropfen Aether gegossen werden, kehrt sie in ein Glas Wasser um und bringt sie so unter den Recipienten der Luftpumpe, so entwickeln sich Aetherdämpfe, die die Röhre füllen und beim Wiederzulassen der Luft wieder condensirt werden.

8) Will man durch Verdunstung Wasser zum Gefrieren bringen, durch Schwefelsäure oder Schwefeläther, so muß man die betreffenden Gefäße auf Korkscheiben stellen, um sie gegen Wärmezuleitung möglichst zu schützen. Der Versuch mit Schwefeläther geht am leichtesten, es muß derselbe aber erst am Schlusse der übrigen Versuche gemacht werden, da der Aether nachtheilig auf das Fett des Instruments wirkt, und doch eine ziemliche Portion verdampft. Es gehört zu diesem Versuche ein ziemlich rasches Auspumpen und es gelingt freilich am sichersten mit zweistiefligen oder sonst doppelt wirkenden Luftpumpen. Daß man zwei Uhrengläser über einander, in deren oberes flacheres der Aether, in deren unteres das Wasser kommt, als Gefäße anwendet, ist bekannt.

Zu dem Versuche mit Schwefelsäure muß Nordhäuser Schwefelsäure genommen werden, und beide Gefäße, sowohl jenes mit dem Wasser, als jenes mit dem Vitriolöl, müssen sehr flach sein, sie werden neben einander oder auch mittelst eines auf einem Brettchen befestigten Drahtringes wie Fig. 83 (a. f. S.) über einander gestellt, und man wählt eine kleine Glocke. Die Luftpumpe muß gut sein und namentlich gut schließen, wenn das Auspum-

pen vollendet ist, weil es dann noch einige Zeit ansteht, bis das Gefrieren des Wassers erfolgt. Das Gefäß für die Schwefelsäure muß größer sein,

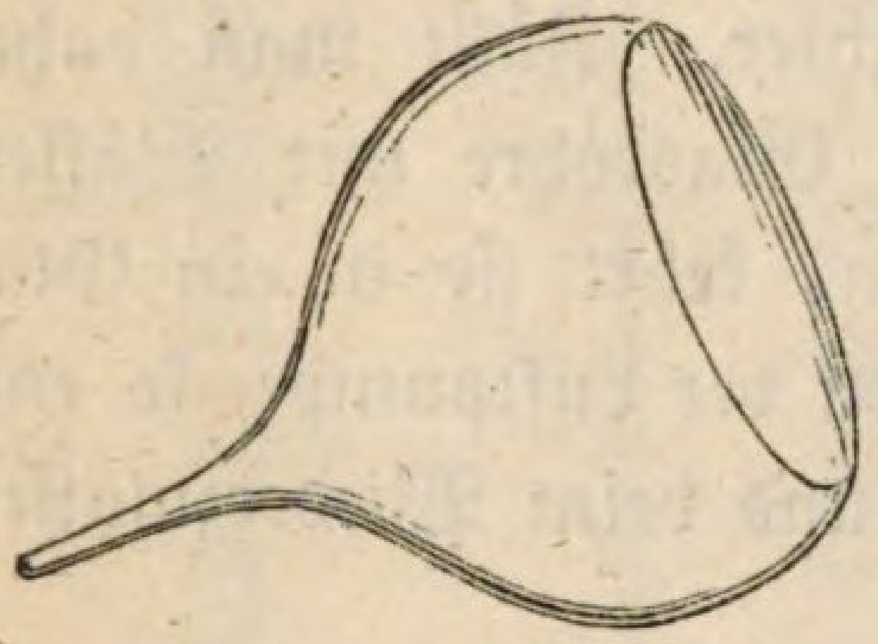
Fig. 83.



man nimmt überhaupt nur wenig Wasser. Da man aber unter dem Namen Nordhäuser Schwefelsäure auch nicht immer solche von gehöriger Concentration erhält, und dann der ohnehin mißliche Versuch mißlingen kann, so ist derselbe für den Unterricht nicht sehr zu empfehlen; mit Schwefeläther geht es viel sicherer und zeigt dasselbe.

9) Der Druck der inneren Luft sprengt ein Gefäß, wenn man außerhalb die Luft verdünnt. Am besten eignen sich hierzu dünn aufgeblasene Glaskugeln von etwa 1 Zoll Durchmesser, die man durch Anwärmen auf einer Seite platt werden läßt und nach dem Erkalten die feine Spitze zuschmelzt, Fig. 84.

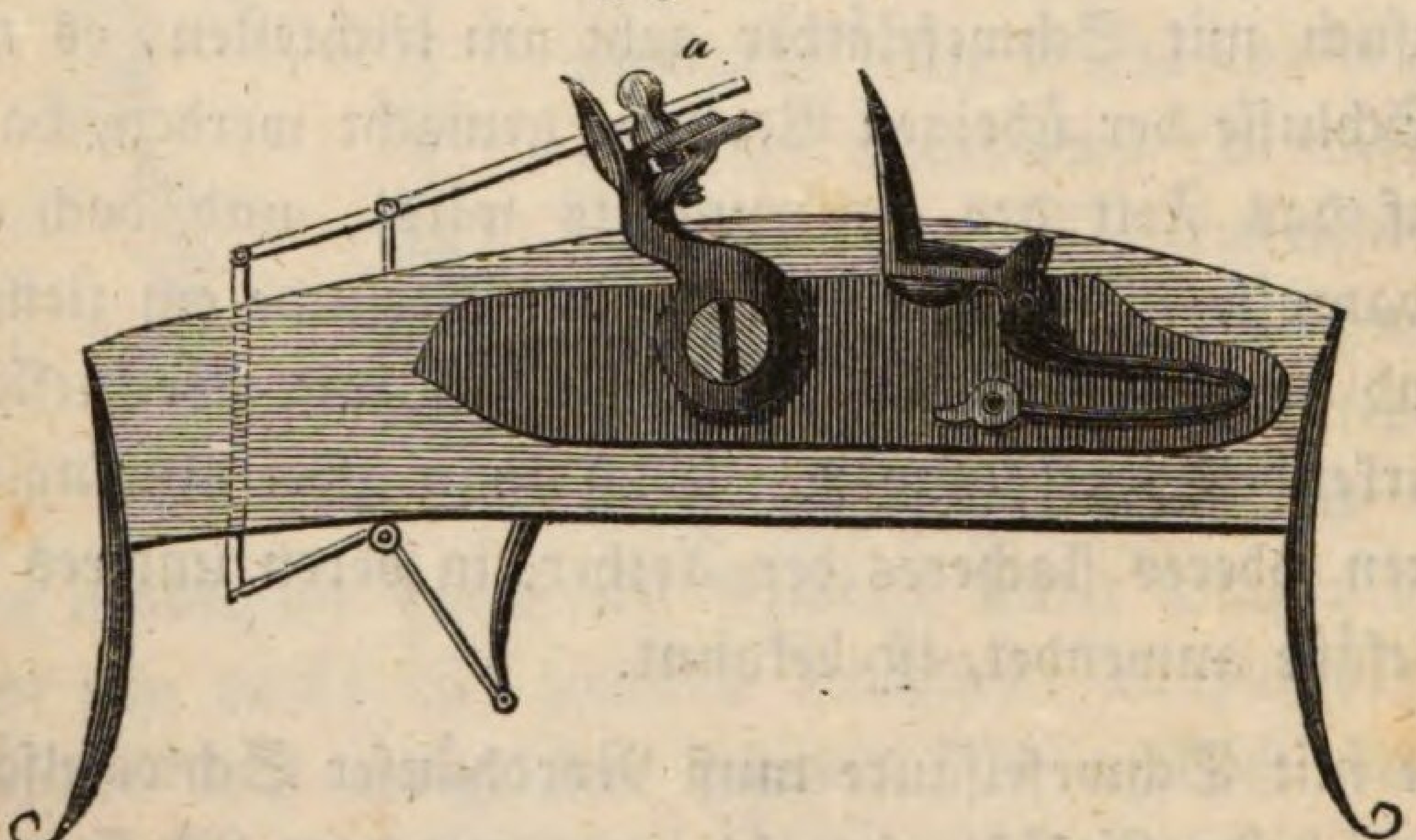
Fig. 84.



10) Um zu zeigen, daß ein Licht in verdünnter Luft erlischt, wähle man ein niedriges Wachslicht und eine etwas hohe Glasglocke, damit die Erhitzung an der Stelle des Knopfes derselben nicht etwa ein Springen veranlaßt. Das Licht löscht übrigens nach wenigen Zügen aus.

11) Stahl giebt kein Feuer, und Schießpulver entzündet sich nicht im leeren Raume unter einer Explosion. Den ersten Versuch stellt man jetzt gewöhnlich so an, daß man ein Flintenschloß, wie Fig. 85 zeigt, an seinem Schafte mit 4

Fig. 85.



Füßchen versieht und eine Vorrichtung anbringt, um das Schloß von oben losdrücken zu können, es wird gespannt unter dem Recipienten gebracht, der mit einer Stopfbüchse versehen ist. Hat man die Luft gehörig verdünnt, so stößt man den Stift der Stopfbüchse auf den Drücker *a*, um das Schloß loszudrücken. Man sieht keine oder nur schwache Funken, und das Pulver der Pfanne entzündet sich nicht. Unterrichtender als ein solches Flintenschloß würde freilich eine ähnliche, aber auf

dem Teller festgeschraubte Vorrichtung sein, deren Hahn sich nicht feststellte, und durch den Stift der Stopfbüchse wiederholt gehoben werden könnte, um ihn gegen den Stahl schlagen zu lassen, doch taugen die dem Verfasser bekannten Vorrichtungen der Art nicht viel. Bringt man aber einige Körner Pulver für sich unter den Recipienten und sucht sie entweder durch ein Brennglas zu entzünden, nachdem man die Luft ausgepumpt hat, oder dadurch, daß man mittelst der Stopfbüchse ein vorher bis zum Glühen erhitztes Metallstück darauf bringt, so findet allerdings, wenn gleich viel schwieriger, als im lufterfüllten Raume, Entzündung statt, allein es brennt dabei das Pulver ohne Verpuffung ruhig weg.

12) Der Heber fließt nicht im luftverdünnten Raum. Für diesen Versuch biegt man aus einer Thermometerröhre einen Heber wie Fig. 86; die

Fig. 86.

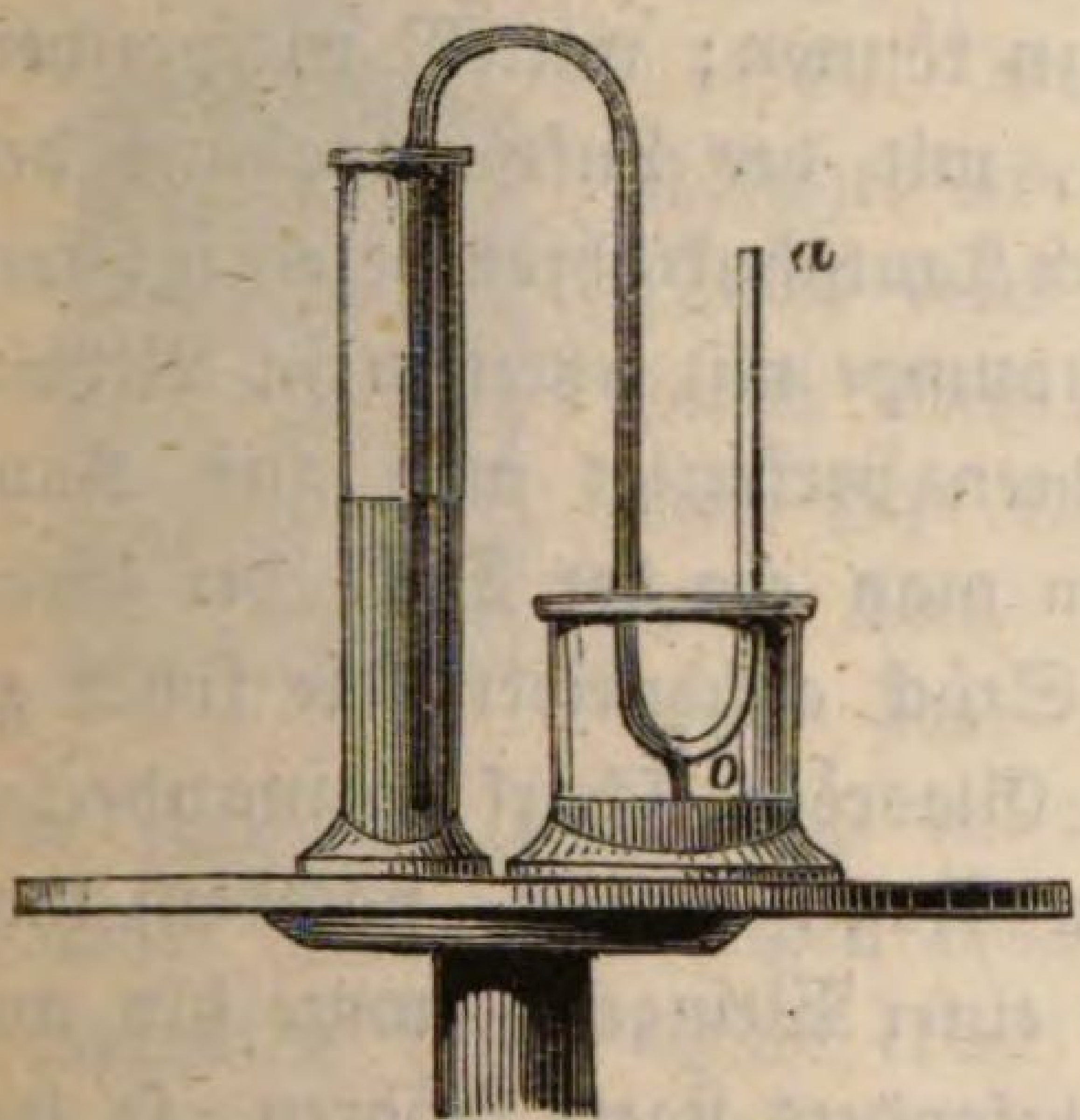
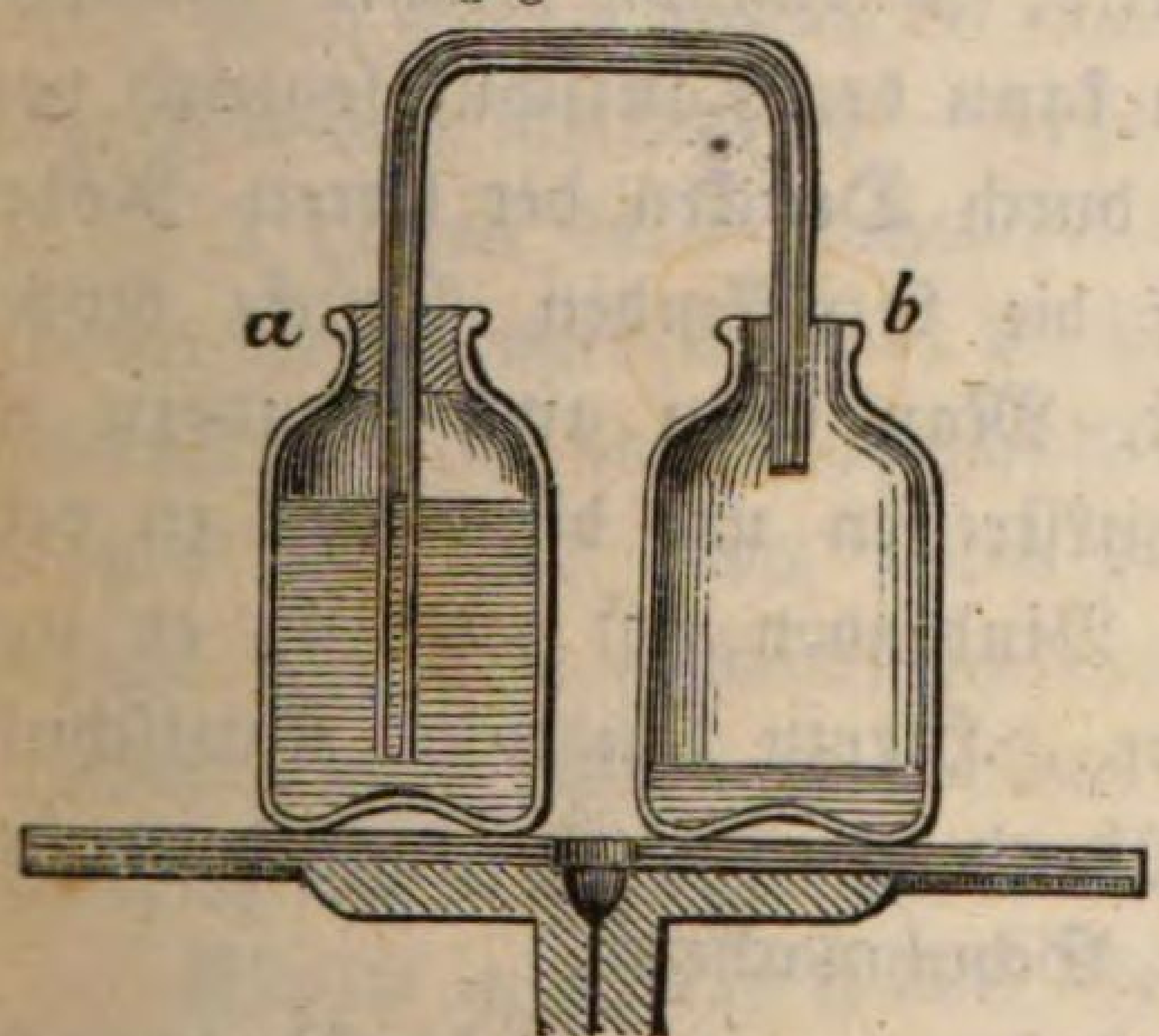


Fig. 87.



Oeffnung bei *o* hält man mit dem Finger zu, während man den Heber bei *a* ansaugt. Der Versuch geht, mit Quecksilber angestellt, bei jeder Luftpumpe, was mit Wasser nicht immer der Fall sein dürfte. Man füllt das Quecksilber in einen etwas hohen Cylinder und stellt einen anderen weniger hohen daneben, um das Quecksilber aufzufangen. Die Oeffnung bei *o* wird leicht erhalten, wenn man die Röhre an einem Ende verschließt und sie dann bei *o* einseitig an der Lampe erwärmt, während man am andern Ende hineinbläst.

Befestigt man mittelst eines gut schließenden Korkes in ein zum Theile mit Wasser gefülltes Gefäß *a* Fig. 87 eine gekrümmte beiderseits offene in das Wasser reichende Glasröhre, deren anderes Ende in ein leeres Gefäß *b* reicht, und bringt den Apparat unter den Recipienten, so treibt die Elasticität der in *a* eingeschlossenen Luft beim Auspumpen das Wasser in das Gefäß *b*. Läßt man die Röhre gerade und zieht sie in eine Spitze aus, so hat man einen Heronsball der einfachsten Art. Man kann diesen unter dem Recipienten zum Springen bringen, doch muß man sich dabei hüten, den Versuch zu lange fortzusetzen, weil sonst Wasser in die Luftpumpe kommen könnte, was für andere Versuche störend ist.

13) Einen Apparat für den Quecksilberregen kann man sehr einfach aus

einem Lampenkamin, Fig. 88, herstellen, dessen erweiterte Seite eben geschliffen wird. In die andere Seite wird ein abgedrehtes Stück Nußbaumholz, wie Fig. 89 im Durchschnitte zeigt, eingekittet; ein anderes zu einem Napfe ausgedrehtes Stück, Fig. 90, wird in den erweiterten untern Theil auf den Teller gestellt, um das Quecksilber aufzufangen, damit nicht etwa ein Tröpfchen davon in die Luftpumpe gelangen und den Schluß der Hahnen verderben könne.

Fig. 88.

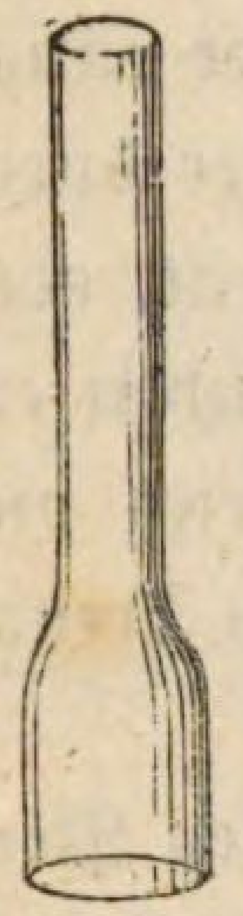
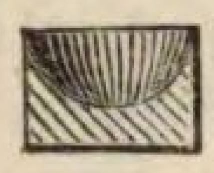


Fig. 89.

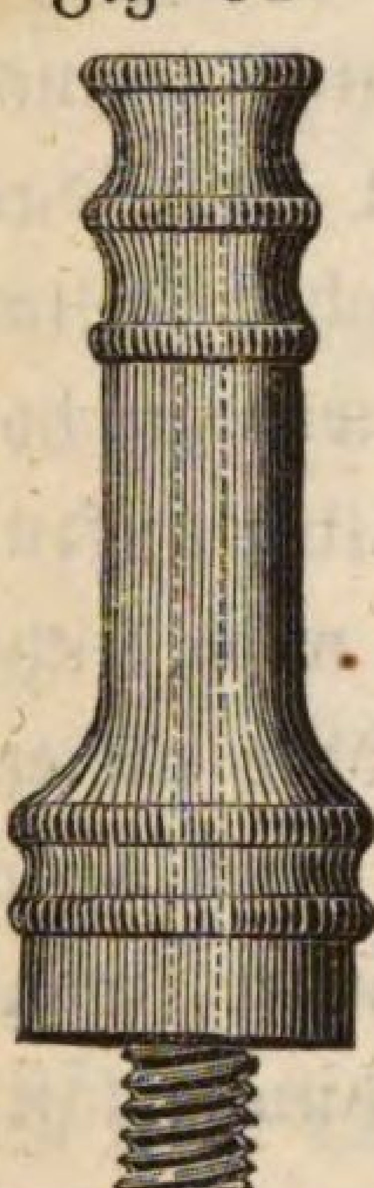


Fig. 90.



14. Oefter kommt man in den Fall, daß die Luft in einem Gefäße verdünnt werden soll, welches nicht auf die Luftpumpe geschraubt oder auf den Teller gesetzt werden kann. Man hat hiefür ein Stück Messing, wie Fig. 91, mit doppelt geriffeltem Kopfe, um es fest auf die Luftpumpe schrauben zu können; mittelst entsprechend gebogenen Glasröhren, welche unter sich, mit der Luftpumpe und dem zu verdünnenden Raume durch Kautschukröhren vereinigt werden, setzt man nun die Luftpumpe mit letzterem in Verbindung. Solche Kautschukröhren verfertigt man aus Kautschuk in Platten, von welchen man ein der Dicke der Glasröhre gerade entsprechendes Stück abschneidet, die frisch geschnittenen Ränder über der Glasröhre scharf aneinanderlegt und dann wiederholt mit dem Nagel streicht, nachdem man den Kautschuk einigemal über einer Weingeistflamme hin und her geführt hat. Will man besonders starke Röhren, so legt man über die erste eine zweite, so daß die Nähte einander entgegengesetzt liegen. Man kann den Kautschuk sogleich von der Glasröhre abziehen und durch Drücken der leeren Röhre die Nähte noch besser vereinigen. Auf die betreffenden Stücke bindet man den Kautschuk durch Bindfaden fest. Man kann auch geradezu einen etwa zollbreiten erwärmten Kautschukstreifen um die beiden zu verbindende Fugen fest umwickeln und mit Bindfaden fest machen, er legt sich von selbst zu einer Röhre aufeinander. Hierzu taugliche Kautschukplatten erhält man im Handel pr. Pfund zu circa 3 Fl. und in beliebig kleinen Quantitäten bei manchen Schuhmachern.

Fig. 91.

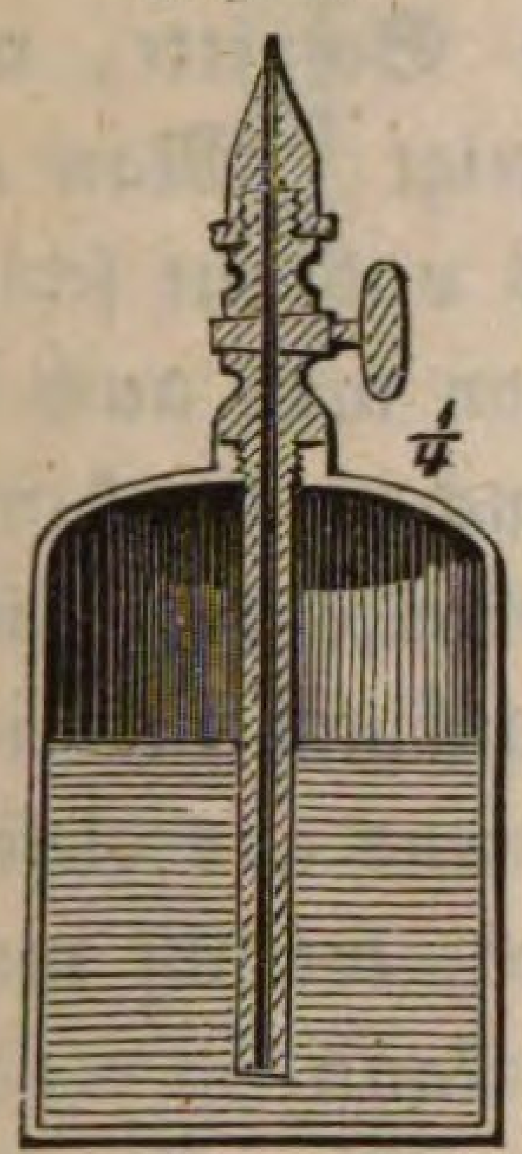


15. **Verdichtung der Luft.** Ist die Luftpumpe zugleich hierfür brauchbar, so muß man bei jedesmaligem Gebrauche zuvor die Steurung untersuchen, ob sie die verlangte Stellung habe, weil ein Versehen hier in dem Recipienten gefährlich werden könnte. Ist nämlich beim Verdünnen die Steurung auf Verdichten gestellt, so wird der Recipient villeicht durch Adhäsion dem ersten Drucke wiederstehen, dann aber gewaltsam von dem Teller geworfen werden.

16. Ein Manometer der einfachsten Art verfertigt man sich aus einer nahezu gleich weiten einerseits verschlossenen Glasröhre, die mittelst Tusche in Zolle und Linien getheilt, sodann durch Leder oder Kork in ein Gläschen mit Quecksilber gestellt wird. Es dürfte übrigens nicht rathsam sein, bei Luftpumpen die Verdichtung über zwei Atmosphären zu treiben.

17. Verdichtet man in einem Heronsball von Metall, dessen Springrohr durch einen Hahn verschließbar ist, wie in Fig 92, und der auf die Luftpumpe geschraubt werden kann, die Luft, so können nach dem Abnehmen verschiedene Spritzöffnungen aufgeschraubt und die Wirkung derselben gezeigt werden.

Fig. 92.



18. Eine abgeplattete Glaskugel, wie die bei N. 8 erwähnte, wird im Compressionsgefäß zerdrückt.

19. Bestimmung des specifischen Gewichts elastisch flüssiger Körper dürfte schwerlich Gegenstand eines Versuches beim Unterrichte sein. Hier wird es genügen, durch Abwägen den Gewichtsunterschied zwischen einer mit Luft erfüllten und ausgepumpten Glaskugel — oder auch einer Glasröhre — zu zeigen. Will man aber wirklich den Versuch machen, so wäre hier nur zu zeigen, wie in diesem Falle das zu wägende Gas getrocknet werden muß, weil ähnliche Operationen auch bei andern Versuchen erforderlich sind. Eine etwa 3 Fuß lange und 6 — 8 Linien weite Glasröhre wird mit Chlorcalcium gefüllt, und sodann mittelst Kork geschlossen. Den Kork durchlöchert man entweder mit einem glühenden Drahte oder mit dem Korkbohrer — dessen Beschreibung unten folgt —, so daß eine 1 — 2 Linien weite rechtwinklicht gebogene Glasröhre auf jeder Seite durchgestoßen werden kann, die Pfropfe werden mit der weiten Röhre ebengeschnitten und mit Kautschukstreifen verbunden. Diese so vorbereitete Röhre verbindet man durch Kautschukröhren, zuerst mit der Blase, welche das Gas enthält, und dann auch mit dem leergepumpten Ballon, nachdem man vorher soviel Gas hat durchströmen lassen, als zur Entfernung der atmosphärischen Luft erforderlich ist.

Wollte man das specif. Gewicht der atmosphärischen Luft in Bezug auf Wasser bestimmen, also den Ballon einmal mit Wasser füllen, so wäre besondere Sorgfalt auf das Wiederaustrocknen desselben zu verwenden, was ziemlich umständlich ist und nur durch wiederholtes Auspumpen und Anfüllen mit vollkommen trockner Luft erreicht werden kann. Schon darum eigent sich dieser Versuch nicht für den Schulunterricht. Bei kleineren Gefäßen könnte man das Volumen derselben mit Quecksilber bestimmen Hat man kein mit einem Hahne versehenes Gefäß und man will

nur den Gewichtsunterschied zwischen einem mit Luft erfüllten und einem luftleeren Gefäße zeigen, so kann man sich sehr leicht ein solches aus jedem dünnen Glase mit enger Mündung herstellen, indem man dasselbe mit einem gut schließenden Korke verschließt, welcher vorher mittelst eines glühenden Drahtes 1 — 2 Millimeter weit durchbohrt und dann ebengeschnitten wird. Besser ist es, wenn man einen Kork von sehr reiner Schnittfläche aussucht, den man ganz eintreiben kann, weil es schwer ist, wieder eine so glatte Fläche zu schneiden, wie sie die Korke gewöhnlich haben. Man bindet dann ein Stück Wachstaffet darüber und macht in denselben auf beiden Seiten neben der Oeffnung zwei parallele kleine Schnitte, wie dieses Fig. 93 und Fig. 94 in vergrößertem Maaßstabe zeigt. Man erhält so ein einfaches und gut schließendes Ventil, wovon man auch in andern Fällen Gebrauch machen kann. Das Gefäß wird behufs der Entleerung unter einen möglichst kleinen Recipienten gestellt und aus diesem die Luft ausgepumpt, worauf man das Gefäß abwägen kann.

Fig. 93.



Fig. 94.



20) Fall der Körper im luftverdünnten Raume. Am einfachsten nimmt man hierzu eine etwa 2 — 3 Fuß lange und 1 — $1\frac{1}{2}$ Zoll weite Glasröhre, die oben und unten eine messingene gut aufgekittete Fassung erhält und einerseits mit einem Hahne versehen ist. Man bringt ein paar kleine Postpapierblättchen und ein Bleikügelchen hinein, und zeigt vor dem Auspumpen den Unterschied der Fallzeiten, indem man die Röhre wiederholt in die vertikale Lage umkehrt. Ebenso verfährt man nachher. Eine Feder giebt allerdings größere Differenzen, erfordert aber eine mehr als zollweite Röhre und hängt sich gerne an, da beim Luftzulassen oft etwas Fett in das Innere der Röhre kommt.

Wenn man bei der Wahl des Glases darauf sieht, daß es die Elektricität gut isolirt, so kann man diese Röhre auch bei elektrischen Versuchen brauchen.

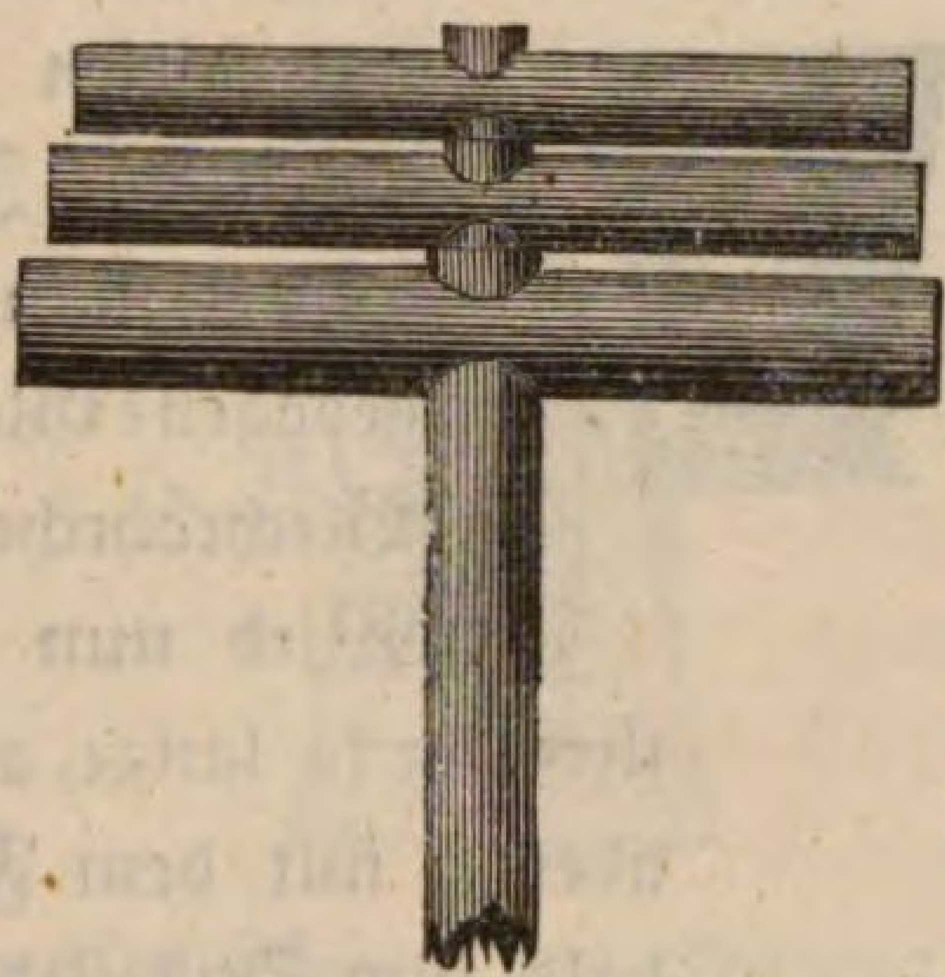
72 **Der Korkbohrer.** Man läßt Röhrchen aus verzinntem Eisenblech von etwa 1—4 Linien Weite und 3 Zoll Länge scharf zusammenlöthen und auf der einen Seite durch eine etwas weitere Röhre senkrecht hindurchstecken, Fig. 95 (a. f. S.). Die Weite der Röhrchen wird so genommen, daß immer das nächst engere gerade in das vorhergehende gesteckt werden kann, so daß sie zusammen ein Besteck von etwa 8 Stück bilden, wie es Fig. 96 für drei derselben zeigt. Der untere Rand der Röhrchen wird scharf gefeilt. Soll

nun ein Kork mit einem Loche versehen werden, so wählt man das passende Röhrchen aus, setzt den Kork auf den Tisch und drückt das Röhrchen, nachdem man es vorher mit einem Tropfen Oel befeuchtet hat, drehend in denselben; das losgebohrte Stück schiebt sich dabei in das Röhrchen. Ist dieses eng und der Kork etwas lang, so schiebt sich das losgebohrte Stück zuletzt nur schwer in dem Röhrchen weiter, und man drückt den Kork nur zusammen, wodurch das Loch unrein wird. Es ist in einem solchen Falle besser, den Bohrer, nachdem er ein Stück losgebohrt hat, herauszuziehen und das losgebohrte Stück mit dem nächst kleineren Röhrchen herauszustoßen. Für das kleinste hat man einen dazu passenden Draht vorräthig.

Fig. 95.



Fig. 96.



Man bekommt solche Korkbohrer aus gezogenen Messingröhren zu kaufen; diese sind freilich schöner rund und glatt, und bohren darum auch reiner, sind aber auch bedeutend theurer.

Die Windbüchse. Wenn man nicht weiß, wie viele Pumpenstöße 73
ein solches Instrument erträgt, so ist es am rathsamsten, das Volumen des Kolbens durch hinein gegossenes Oel zu bestimmen und das Volumen der Pumpe nebst dem schädlichen Raume derselben damit zu vergleichen, so wie mit der Metallstärke des Kolbens, um wenigstens annähernd bestimmen zu können, wie weit durch eine bestimmte Anzahl Pumpenstöße die Luft im Kolben comprimirt wird und wie weit sie ohne Gefahr comprimirt werden kann. Häufig ist der schädliche Raum (d. h. der Raum zwischen dem Kolben der Pumpe und dem Ventil des Gewehrkolbens) so groß, daß er von selbst das Zuviel beim Comprimiren unmöglich macht. Bei diesem Geschäfte nimmt man das Querstück der Pumpenstange zwischen die Füße, nachdem der Gewehrkolben von dem Laufe ab und an die Pumpe geschraubt ist, und bewegt diesen sammt der Pumpenröhre auf und nieder, indem man beim Aufziehen jedesmal so weit hebt, bis man die Luft durch die Seitenöffnung der Röhre einzischen hört und dann rasch niederstößt. Der Pumpenkolben darf nicht zu fest gehen, denn das Comprimiren ist schon an sich ermüdend. Nur wenige Windbüchsen halten eine volle Ladung bis über 24 Stunden.

74 **Der Heber.** Statt dem unten Nr. 11 bei der Luftpumpe angeführten Versuche, kann man sich vom Blechner auf ein Trinkglas Fig. 97 einen Deckel mit zwei Röhrchen von einigen Linien Breite machen lassen und diesen auf das Glas luftdicht aufkitten. In das eine Blechröhrchen *b* kittet man sodann eine heberförmig gebogene Glasröhre; durch das andere Blechröhrchen *a* füllt man Wasser ein. Wird nun der Heber angesaugt, so fließt er so lange, als *a* offen ist; hält man aber *a* mit dem Finger zu, so kommt er bald zum Stillestehen. Den Tantalusbecher kann man von einem Blechner ebenfalls leicht nach Fig. 98 anfertigen lassen, wenn man die Spielerei überhaupt haben will. Der Heber dient dabei als Handhabe und mündet bei *a* am Boden des Bechers, während die andere Oeffnung *l* mit dem Fuße derselben gleich steht.

Fig. 97.

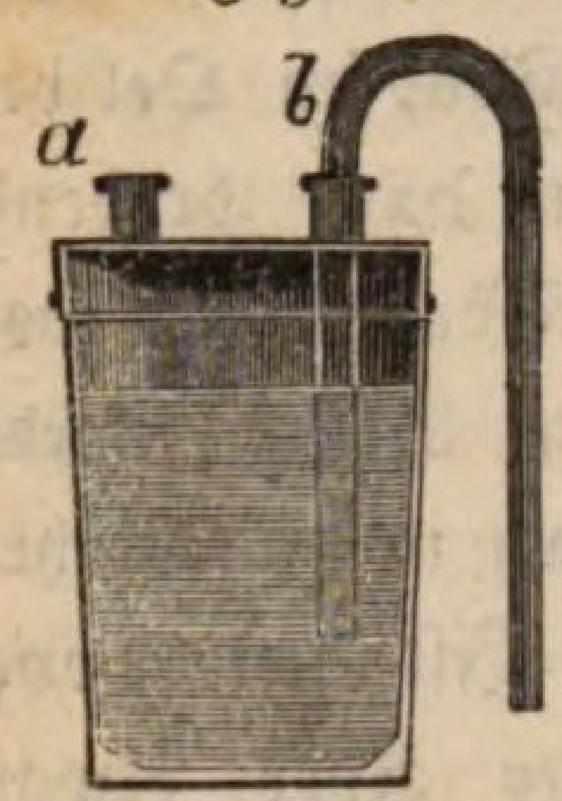
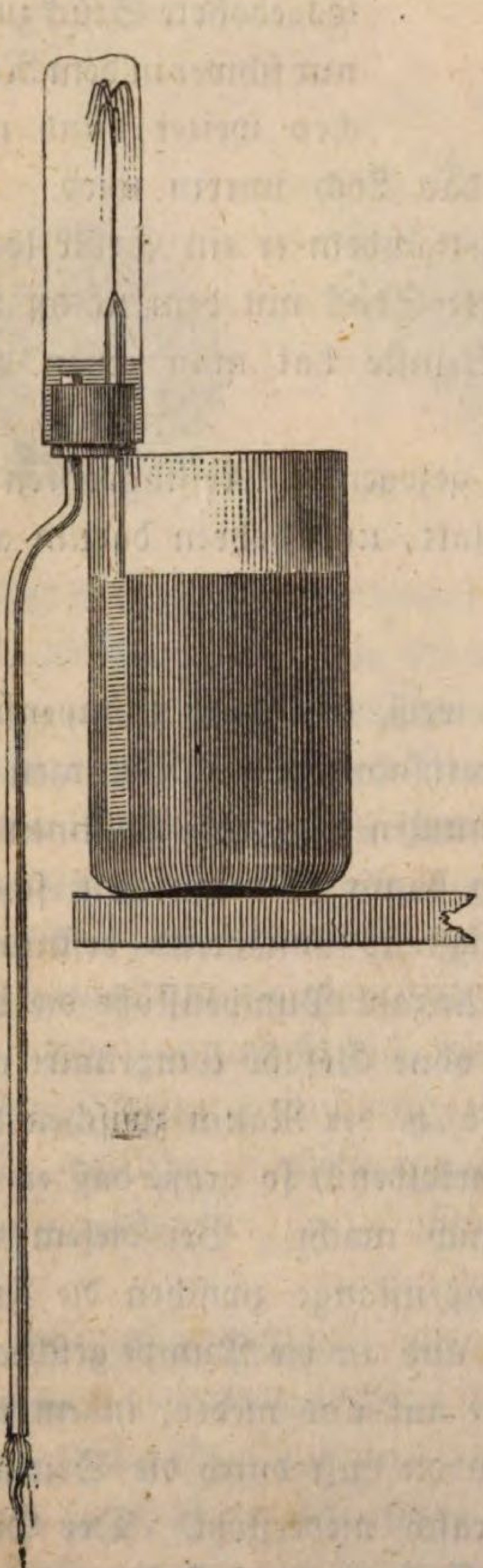


Fig. 98.



Fig. 99.



Einen unterbrochenen Heber kann man sich einfach dadurch verschaffen, daß man von einem Kölnischen Wasserglas den Hals sammt dem oberen Theile absprengt und durch einen guten Kork die beiden Heberröhren hinein führt, wovon die kürzere in eine Spitze ausgezogen ist und weiter hinein ragt als die längere, Fig. 99; saugt man den Heber an, und setzt dieses so lange fort, bis die Oeffnung der längern Röhre mit Wasser bedeckt ist, so hat man im Innern des Glases einen Springbrunnen.

75 **Der Stechheber.** Auf das gleiche Princip, wie der Stechheber, gründen sich eine große Zahl verschiedener Spielereien, wie der Zaubertrichter, der Oelkrug der Witwe, das Sieb der Vestalin, die Zauberkanne, wovon man das eine oder das andere Stück von jedem Blechner machen lassen kann. Der Zaubertrichter, Fig. 100 (a. f. S.), besteht aus zwei Trichtern in einander, welche zwischen sich einen Raum übrig lassen, in den die ganz schmale kreis-

runde Oeffnung bei *a* führt; diese Oeffnung wird gebildet von den Spitzen der beiden Trichter, die am oberen Rande luftdicht mit einander verlöthet sind. Die Handhabe ist zum Theil hohl und steht oberhalb mit der inneren Höhlung in Verbindung; sie hat bei *b* eine kleine Oeffnung. Man füllt den Trichter, indem man die Spitze bei *c* verschließt, die Flüssigkeit dringt nun auch in den Zwischenraum; hält man aber die Oeffnung bei *b* zu, so fließt die Flüssigkeit aus dem Zwischenraum nicht ab, und man kann sie erst nachher durch zeitweises Lüften des Fingers über *b* in beliebigen Portionen abfließen lassen.

Fig. 100.

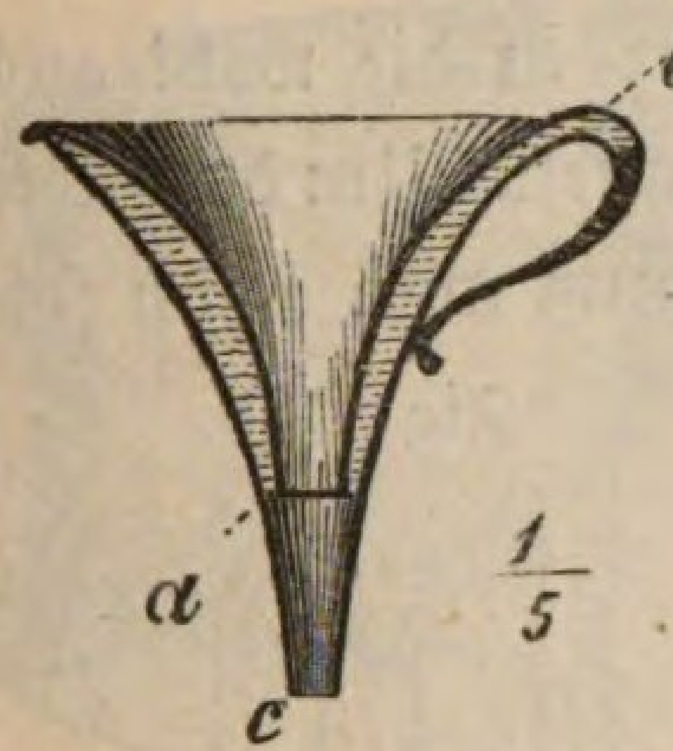
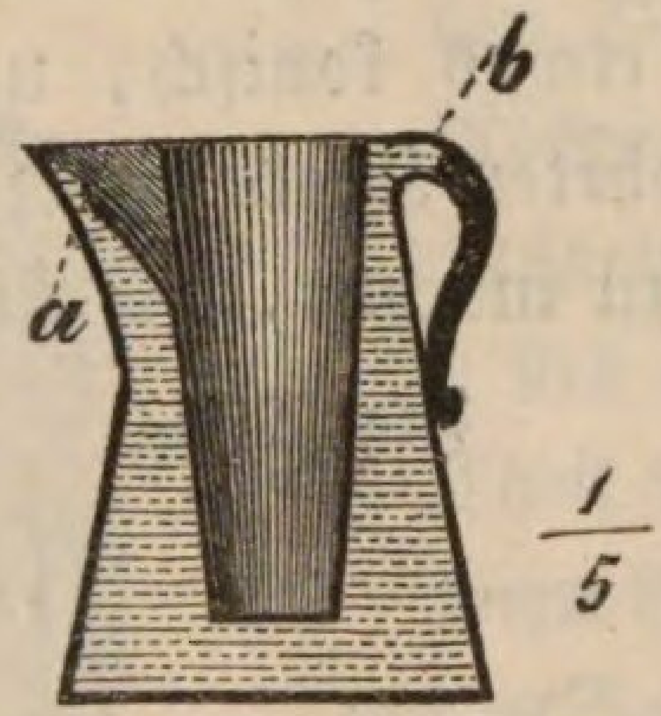


Fig. 101.



Der Oelkrug der Witwe Fig. 101 erklärt sich danach von selbst.

Die Zauberkanne Fig. 102 und 103, hat ebenfalls bei *b* in der Handhabe eine Oeffnung, sie wird aber, nachdem man den nur angesteckten Boden

Fig. 102.



Fig. 103.

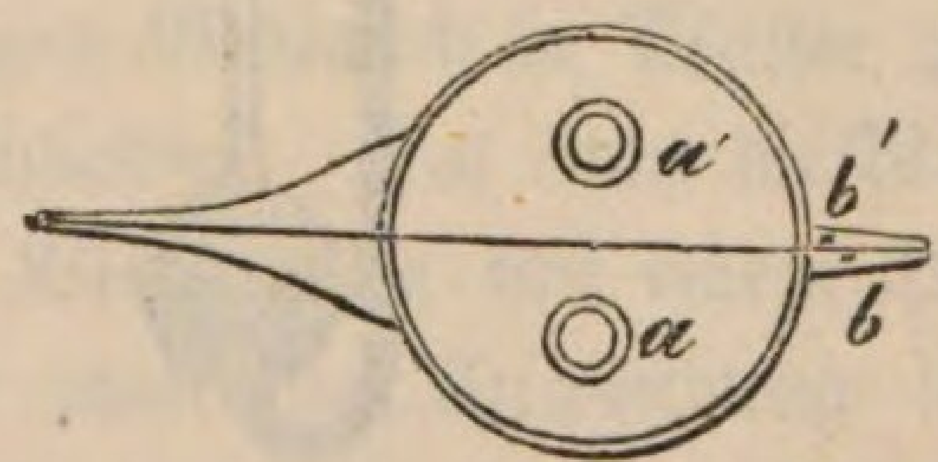


Fig. 104.



m weggenommen, durch eine im Boden *n* befindliche mit einer Schraube verschließbare Oeffnung gefüllt. Die Ausgußöffnung darf natürlich nur enge sein.

Wird eine solche Kanne, wie Fig. 103 im Grundrisse zeigt, durch eine Scheidewand getrennt, so kann man zweierlei Flüssigkeiten durch die Bodenöffnungen *a a'* einfüllen und je nachdem man die Oeffnung *b* oder *b'* in der Handhabe lüftet, die eine oder die andere ausfließen lassen.

Das Sieb der Vestalin, Fig. 104, ist ein Gefäß von Blech, dessen Boden aus einem feinen Siebe besteht. Flüssigkeiten halten in demselben, so lange der Hals durch den Pfropf verschlossen bleibt.

Daß man bei dem Unterrichte viele übrige Zeit haben müßte, wenn man alle dergleichen Spielereien zeigen wollte, selbst wenn man dieselben hätte, ist wohl für sich klar; dagegen darf die Anwendung des Stechhebers als Pipette nicht umgangen werden, da man beim Unterrichte selbst mannigfaltigen Gebrauch davon macht. Die einfachste Art, sich eine solche Pipette zu verschaffen, besteht darin, daß man eine etwa 4 — 5 Linien weite Glasröhre einerseits in eine Spitze auszieht und andererseits die Oeffnung durch

Glühen sich etwas verengern läßt, um bequem mit dem Zeigefinger schließen zu können. Die Röhre selbst wird etwa 5 — 6 Zoll lang genommen und die ausgezogene Spitze 1 — $1\frac{1}{2}$ Zoll.

76 **Der Heronsbrunnen.** Am einfachsten läßt sich derselbe aus etwas starken Glasröhren, wie Fig. 105 zusammensetzen. Man zieht hiefür die Glasröhren an der Lampe etwas konisch, um sie fester in die wohl ausgesuchten und sorgfältig gebohrten Korke einstecken zu können. Um denselben aus einem Stück von Glas zu machen, wie Fig. 106, muß man schon sehr

Fig. 105.

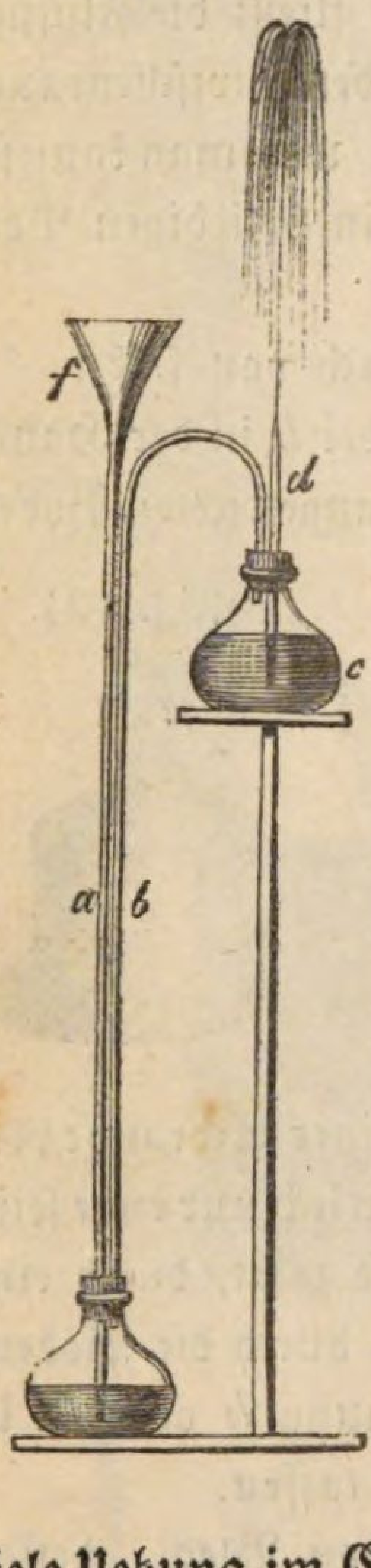


Fig. 106.

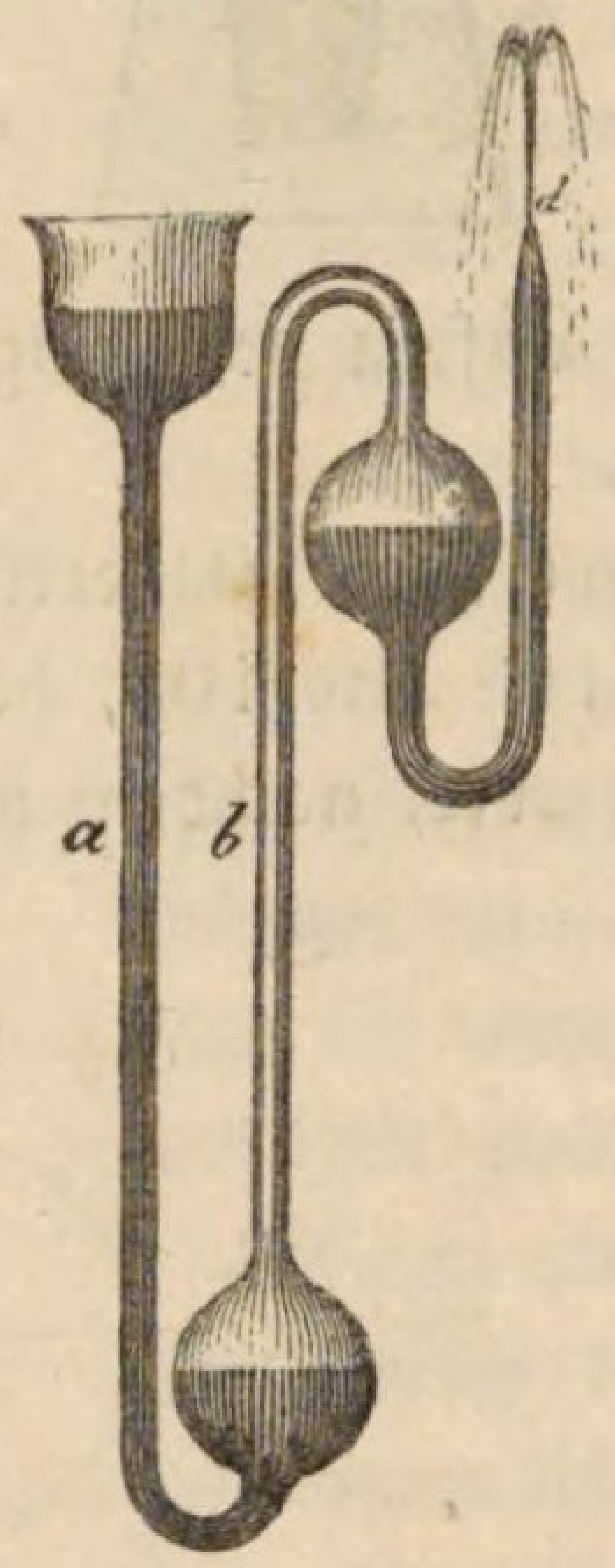
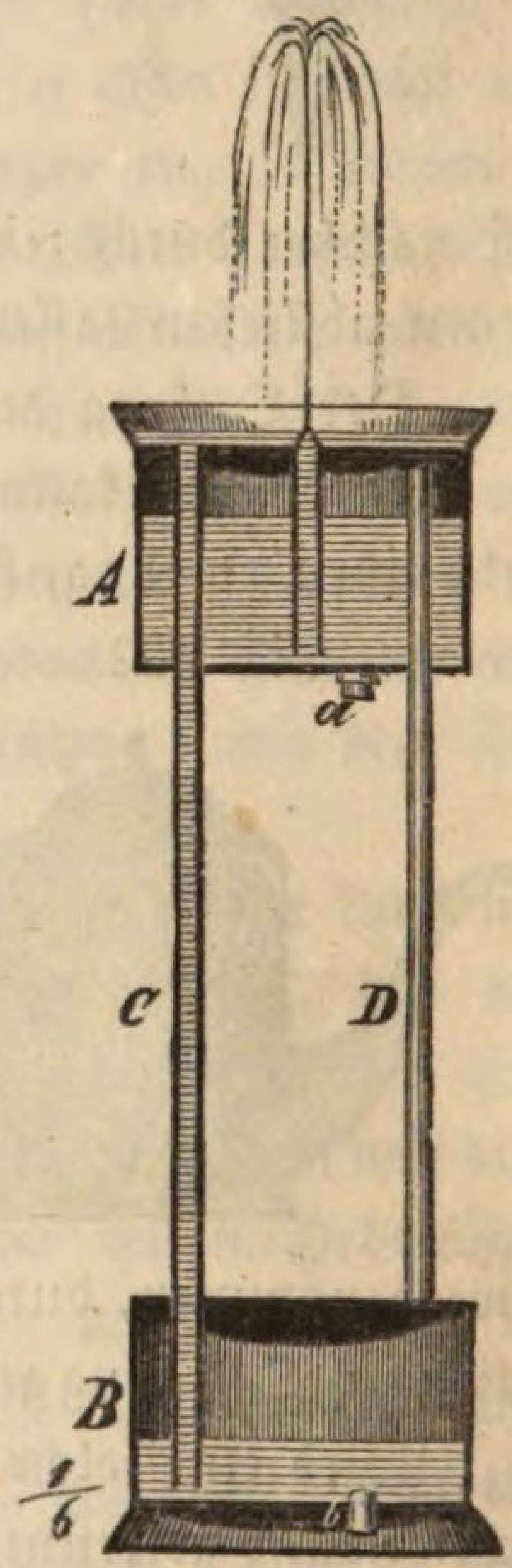


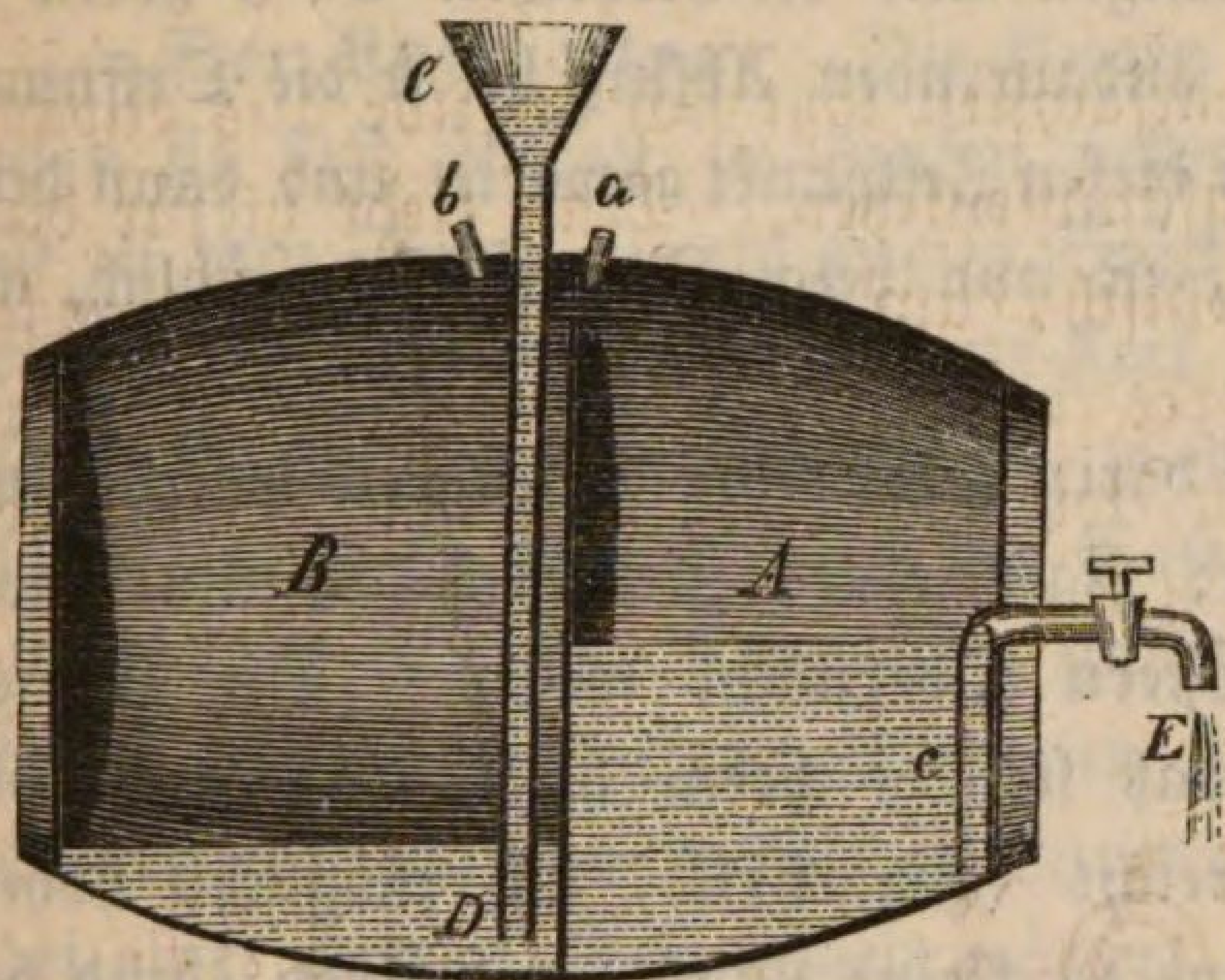
Fig. 107.



viele Uebung im Glasblasen erlangt haben. Aus Blech läßt sich ein Heronsbrunnen sehr einfach nach Fig. 107 anfertigen. Die beiden Gefäße *A* und *B* haben jedes unterhalb eine mit Kork verschließbare Oeffnung *a*, *b*; *A* wird durch diese mit Wasser gefüllt, *B* dadurch nach dem Versuche entleert. Außer den beiden erforderlichen Röhren *C* und *D* kann man die zwei Gefäße zu besserer Festigkeit durch noch zwei mit den genannten ähnliche Säulen verbinden, die jedoch in keiner Verbindung mit den Gefäßen stehen. Man hat bei dieser Form den Vortheil, daß das ausgespritzte Wasser selber sich wieder in dem Becken des oberen Gefäßes sammelt und den Druck im untern ausübt.

Auf dem gleichen Principe wie der Heronsbrunnen beruht auch die Zaubertonne Fig. 108. Sie ist in zwei Theile getheilt und die Scheidewand hat oberhalb eine Oeffnung. Durch das verschließbare Loch *a* wird in *A* Wein eingefüllt, welcher durch den Druck der Wassersäule in der Röhre *C D* durch den Hahn *E* herausgetrieben wird, indem die Röhre *c* des Hahns bis in den untern Theil von *A* reicht. Die comprimirte Luft tritt durch die Oeffnung der Scheidewand aus *B* in *A* und durch die verschließbare Oeffnung *b* kann *B* nach dem Versuche entleert werden. Daß man auch hier nicht beide Formen nöthig habe, ist klar.

Fig. 108.



Pumpen. Saugpumpen und Druckpumpen, letztere mit und ohne Heronsball, kauft man am besten fertig, und zwar die Röhren von Glas. Da hiebei kein Fett angewendet werden kann, um die Durchsichtigkeit des Glases nicht aufzuheben, so sind die Kölbchen mit Faden umwickelt, und müssen daher vor dem jedesmaligen Gebrauch in Wasser gelegt werden, damit sie aufquellen und gehörig schließen. Hat man die Wirkung der Druckpumpe in Verbindung mit einem Heronsball erklärt, so handelt man die Anwendung derselben auf die Feuerspritze am besten an einer solchen selbst ab, statt ein Modell derselben anzuschaffen. 77

Fig. 109.

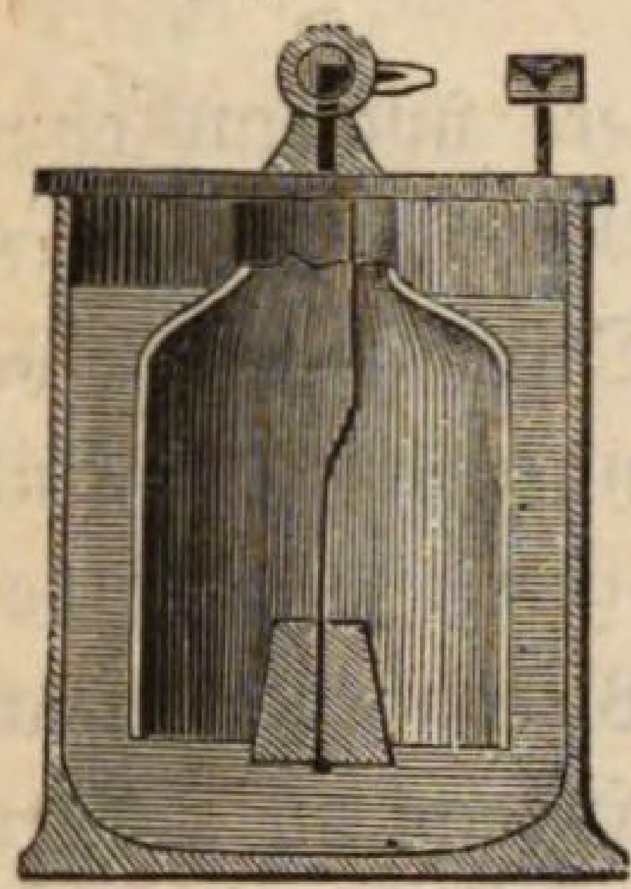


Der intermittirende Brunnen. Ganz einfach erhält man denselben, wenn man an ein Gefäß von Glas *A* Fig. 109 eine Fassung *B C* von Blech machen läßt, durch welche das Rohr *D* geht, das unterhalb einen kleinen Ausschnitt hat; außerdem hat die Fassung noch die kleinen Röhrchen *a b*. Ein zweites Gefäß *E* bildet oberhalb ein Becken und trägt in der Mitte die Röhre *g*, welche bei *F* am Boden des Beckens auch eine Oeffnung hat und auf die die Röhre *D* gesteckt wird, nachdem *A* durch sie mit Wasser gefüllt ist. Die kleine Oeffnung *h*, welche vom Boden des Beckens in das Gefäß *E* führt, läßt weniger Wasser in *E* ablaufen, als *a* und *b* zusammen. Im Boden des Gefäßes *E* ist eine durch Kork verschlossene Oeffnung um dasselbe entleeren zu können. Sobald das Gefäß *A* auf die Röhre *g* gesteckt ist, fließt das 78

Wasser aus *a b* ab und sammelt sich in dem Becken, weil *h* kleiner ist als *a* und *b* zusammen; dadurch wird aber die Oeffnung *F* verschlossen, es kann keine Luft mehr durch *D* in *A* gelangen und die Röhrchen *a*, *b* hören so lange zu fließen auf, bis durch den andaurenden Abfluß bei *h* die Oeffnung bei *F* wieder frei wird. Daß man diesen Zeitpunkt abwartet und dann dem Brunnen wieder zu fließen befiehlt, ist nur beim Taschenspieler üblich, wo aber das Ganze maskirt wird.

79 **Die Zündmaschine.** Die darin gebrauchte Flüssigkeit besteht aus auf $^1/_6$ verdünnter Schwefelsäure; statt eines Zinkstückes nimmt man besser aufgerolltes Zinkblech der größern Oberfläche wegen. Die Menge der Flüssigkeit muß so groß sein, daß sie bei ihrem höchsten Stande bis beinahe an die metallene Decke reicht (Fig. 110), um möglichst hohen Druck zu erhalten. Man muß keine zu kleine Maschine wählen, und besonders darauf sehen, daß der Gasbehälter groß genug ist, da sie dem Physiker wohl mehr als bequeme stets fertige Vorrichtung zur Entwicklung kleiner Quantitäten von Wasserstoffgas, als als Zündmaschine dient. Für diesen Zweck ist es daher auch bequem, wenn die Ausströmungsröhre am Gehäuse des Hahns sich befindet, damit man statt derselben ein anderes Röhrchen einschrauben könne, an welches mittelst Kautschuk eine gläserne in die pneumatische Wanne führende Röhre befestigt wird.

Fig 110.



Was den Schluß des Hahns betrifft, so ist er sonst allerdings sicherer, wenn die Gasröhre in seiner Längenaxe sich befindet und derselbe also wie Fig. 111 gebohrt ist.

Fig. 111.



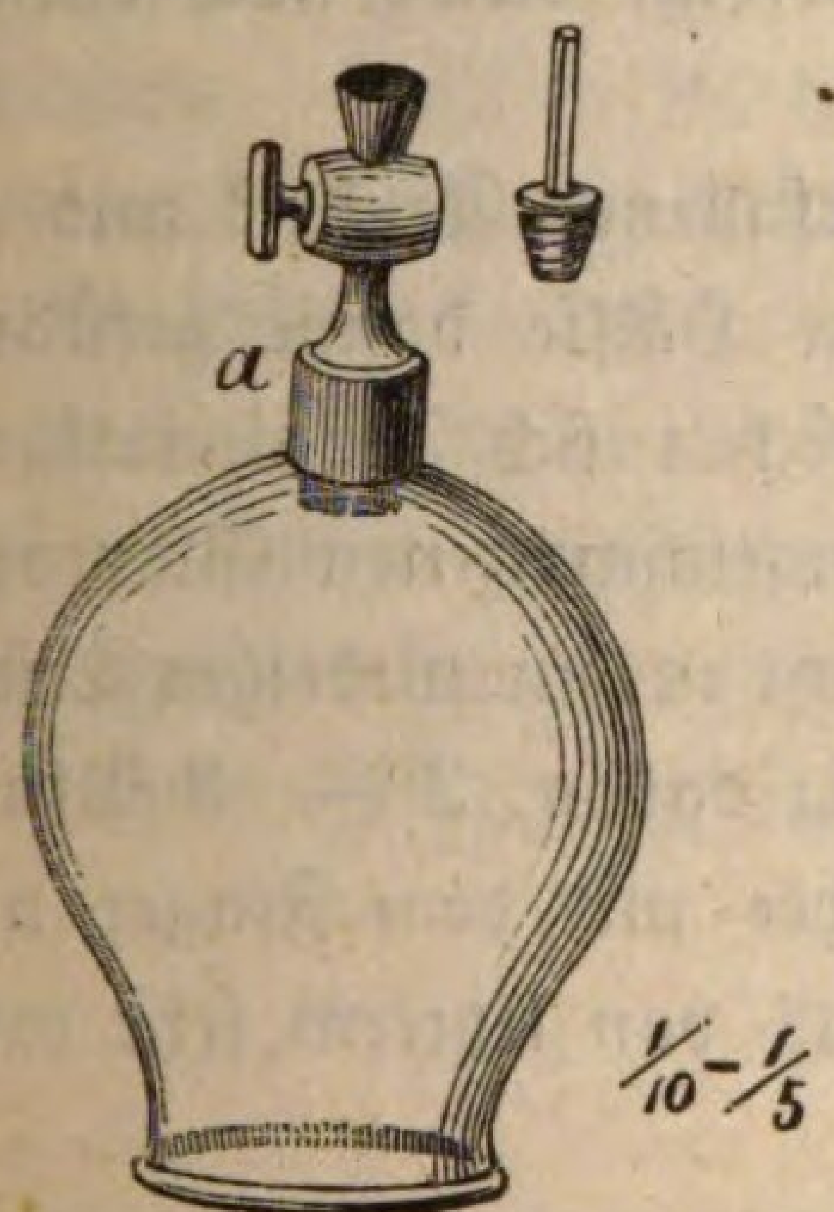
Außer dem Hahnverschluß, der übrigens jedenfalls der bequemste ist, giebt es noch einige andere Arten, die jedoch wenig in Gebrauch gekommen sind. Man muß nur beim Ankaufe den Hahn gehörig untersuchen, wobei man darauf zu sehen hat, ob er gehörig schließt ohne zu fest zu gehen, und ob er nicht nach einigen raschen Drehungen Spuren von Reibung am Gehäuse zeigt. Nach frischem Füllen, so wie wenn die Maschine längere Zeit nicht gebraucht wurde, darf man des darin enthaltenen Knallgases wegen den Gasstrom nicht sogleich anzünden, man läßt daher den Gasbehälter wiederholt gegen ein vor den Platinschwamm gehaltenes Papier ausströmen. Nach längerem Stehen muß der Platinschwamm durch die anderwärts angezündete Gasflamme vorerst ausgeglüht werden, wenn er wieder zünden soll.

Weil eine solche Vorrichtung als Gasbehälter so viele Bequemlichkeiten bietet, so bekommt man jetzt deren ganz große, mit Gasbehältern von

2 — 3 Litres Gehalt bei den Mechanikern, die aber gar nicht mit Platinschwamm versehen sind. Man kann eine gleiche Vorrichtung auch für andere Gase, wie z. B. kohlensaures Gas treffen.

Der Luftballon. Die kleinen Ballons aus Goldschlägerhaut, wie 80
man sie fast überall zu kaufen bekommt, dienen hierzu. Man bindet sie zu dem Zwecke an ein kurzes Stückchen Federnkiel mit feinem Faden und richtet ein kleines Pfröpfchen aus Kork zum Verschlusse. Das Wasserstoffgas sammelt man in einer Glasglocke, welche oben einen Hahn hat (Fig. 112), so wie man sie zum Mischen der Gase, zum Füllen einer Schweinsblase rc. gewöhnlich braucht. Das Glas findet man überall, um Lichter im Freien darin brennen zu lassen; für diesen Zweck hat es einen gläsernen hohlen Stiel, den man in passender Entfernung von der Glocke absprengt, wie bei einer andern Gelegenheit erörtert werden soll. Das Hahnstück sollte in die Hülse *a*, welche mit gewöhnlichem Kittsiegellack aufgekittet wird, eingeschraubt sein und auch oberhalb wieder in ein Gewinde endigen. Auf den Hahn richtet man einen Kork mit einem Federkiele zu, den man durch einen Ueberzug von Siegellack überall luftdicht macht. Hat man die erforderliche Quantität Wasserstoffgas und ist dieses gehörig abgekühlt, so streicht man mit der Hand alle atmosphärische Luft aus dem Luftballon, setzt ihn auf den Federkiel und drückt das Gas in denselben, indem man die Glasglocke langsam in die pneumatische Wanne einsenkt. Der gefüllte Ballon wird mit dem kleinen Korkstöpselchen geschlossen und an einem Faden befestigt entlassen. Sollte er mit Wasser bespritzt worden sein, so muß er später aufgeblasen getrocknet werden. Direct das Wasserstoffgas aus der Entbindungsflasche in den Luftballon zu leiten, geht nicht wohl an, weil es meist warm ist und darum zu viel Wasserdampf mitbringt, ganz abgesehen von mitgerissener Schwefelsäure. Wohl aber kann man dazu den im vorhergehenden Paragraphen erwähnten, einer Zündmaschine nachgebildeten Apparat verwenden, wenn er groß genug ist.

Fig. 112.



Um eine Montgolfiere steigen zu lassen, müßte man sie an einem Faden, der über Rollen an der Decke des Zimmers geleitet ist, aufhängen und durch ein Gegengewicht ihre Schwere zum größten Theile aufheben, sie kann dann durch die darunter gehaltene Weingeistlampe zum Steigen gebracht werden. Ohne dieses Hülfsmittel müßte das Volumen eines solchen Ballons größer sein, als daß er sich noch bequem beim Unterrichte behandeln ließe.

81 **Die Diffusion der Gase.** Man zeigt dieses gewöhnlich mit kohlensaurem Gase, welches man aus einem damit gefüllten Cylinder in einen größern mit atmosphärischer Luft gießt. Ein Draht wird umgebogen und auf das kurze Ende ein Stückchen Wachskerze gesteckt. Wird das angezündete Licht in den weiteren Cylinder gesteckt, so findet man an dessen Erlöschen, daß auf dem Boden des Cylinders eine Schichte kohlensaures Gas sich befindet; wiederholt man den Versuch nach einiger Zeit, so findet man weniger Kohlensäure und bald brennt das Licht fort. Man muß aber bei dem Umgießen der Kohlensäure, wodurch man zugleich ihr größeres specifisches Gewicht zeigt, die beiden Cylinder gegen einander neigen und langsam ausgießen, weil sich die Kohlensäure sonst sogleich so weit mit atmosphärischer Luft mengt, daß das Licht fortbrennen kann. Verbindet man die Flasche mit Schweinsblase, so dauert es zwar länger, bis alles kohlensaure Gas verschwunden ist, aber dennoch erfolgt dieses nach einiger Zeit.

82 **Absorption der Gase.** 1) Wenn man zerfallenen Aetzkalk und gestoßenen Salmiak mengt und in einer kleinen zur Hälfte damit gefüllten Retorte mit der Weingeistlampe erhitzt, so entwickelt sich Ammoniakgas, das man in einer etwa fingerweiten einerseits zugeschmolzenen Glasröhre über Quecksilber auffängt. Das Quecksilber kommt in ein niedriges Trinkglas und man bedarf also zum Versuche nur wenig davon, 2 — 3 Pfund reichen aus. Verschließt man die gefüllte Glasröhre mit dem Finger und taucht sie dann in kaltes Wasser, so wird das Gas von letzterm sehr rasch absorbirt.

2) Entwickelt man mittelst Kreide und Salzsäure Kohlensäure, und fängt sie ebenso auf, so kann man ein kleines Stückchen gut ausgeglühte Kohle mit einem aus Draht gebogenen federnden Zängchen fassen, glühend unter das Sperr-Quecksilber tauchen und so in das mit Kohlensäure gefüllte Gefäß bringen. Die Kohle absorbirt rasch einen großen Theil des Gases. Eben weil die Absorption sehr rasch geht, darf man die Kohle nach dem Ablöschen nicht wieder unter dem Quecksilber vorkommen lassen, da sie sonst atmosphärische Luft absorbirt, wodurch der Versuch mit Kohlensäure weniger augenfällig wird. Die Kohle wird dabei auch von Quecksilber ganz durchdrungen, weswegen es gut ist sie hintennach zu zerstoßen, um dieses wieder zu erhalten. Bringt man die Kohle, ohne sie zu zerstoßen, oder überhaupt ein Stückchen nicht frisch ausgeglühter Kohle durch Gewicht unter Wasser und setzt sie so unter den Recipienten einer Luftpumpe, so entwickelt sich beim Auspumpen das Gas wieder in Blasen.

83 **Hauchbilder.** Um die Moserschen Hauchbilder zu erhalten, giebt es sehr verschiedene Verfahrungsarten, unter denen folgende sicher zum Ziele führen.

1) Man schneide aus einem Kartenpapier eine beliebige Figur heraus und lege das Papier auf eine Glasplatte, die man nun behaucht; ist der Beschlag wieder abgelaufen, so entfernt man das Papier und behaucht die Platte nochmals; die früher nicht bedeckten Stellen condensiren den Wasserdampf anders als die bedeckten, und dadurch wird die Figur derselben sichtbar. Der Versuch kann öfter und nach längerer Zeit noch mit Erfolg wiederholt werden.

2) Auf eine gut mit frisch geglühtem Trippel abgeriebene Glasplatte oder auf eine für Daguerreotypie geputzte Platte stellt man ein Pettschaft von Metall oder Stein, welches nicht frisch gereinigt wird, und läßt dasselbe einige Stunden darauf stehen. Die Platten zeigen beim Behauchen das Bild des Stempels. Es kann auch umgekehrt der Stempel frisch gereinigt sein anstatt der Platte. Auch ohne frische Reinigung erhält man mitunter Bilder, jedoch nur nach längerer Zeit. Temperatur-Differenz beider Körper befördert die Abbildung. Anstatt die Metallplatte zu behauchen, kann man sie in dem Daguerreschen Quecksilberapparate dem Quecksilberdampfe aussetzen, wodurch man die Bilder bleibend erhält. Ebenso werden die Bilder sichtbar, wenn man sie den Joddämpfen aussetzt, oder treten wenigstens hervor, wenn man die jodirte Platte nachher an das Tageslicht bringt. Münzen sind zu diesen Versuchen weniger geeignet als Pettschafte, besonders wenn letztere auf einer reinen Fläche nur eine einfache Zeichnung oder Schrift tragen.

Dritter Abschnitt.

Versuche über die Bewegung.

A. Versuche über verschiedene Arten der Bewegung.

Der freie Fall. Die Gesetze des freien Falles werden an der Atwood'schen Fallmaschine gezeigt. Bei der Anschaffung derselben muß man 84
darauf sehen, daß sie mit einem eignen Secundenpendel versehen sei, welches das fallende Gewicht auslöst. Allerdings kann man die Auslösung nach irgend einem andern Pendel von Hand bewirken und man erwirbt sich bald die hiezu erforderliche Uebung; allein diese verliert man auch immer wieder von Jahr zu Jahr, und es ist daher vor dem jedesmaligen Gebrauche stets

eine neue Einübung erforderlich. Die Rolle muß in hohem Grade beweglich sein und für diesen Zweck an stählernen Spitzen laufen; um ihre leichte Beweglichkeit zu erhalten reinigt man ihre Lager und die Spitzen nach dem Gebrauche sorgfältig von Fett, damit sie nicht verharzen, und ölt dieselben unmittelbar vor dem Versuche frisch ein. Frictionsrollen vertheuren den Apparat sehr und sind bei sonst guter Arbeit nicht nöthig. Ist die Rolle eine gleich dicke Scheibe, so muß ihr halbes Gewicht zu den beiden Gewichten der Maschine addirt werden, wenn man aus dem Verhältnisse der Skalentheile zur Weite des freien Falles das beschleunigende Zulage-Gewicht berechnen will; für durchbrochene Rollen, welche freilich leichter sind, läßt sich keine solche Regel angeben und man muß das Zulagegewicht durch Versuche bestimmen. Es ist daher am zweckmäßigsten, die Rolle als Scheibe zu nehmen. Um die Skale, deren Theile etwa einen Zoll betragen, senkrecht zu stellen, bringt man den durchbohrten Anhalter unten an die Skale und benutzt das Fallgewicht als Senkel, man handhabt die Stellschrauben des Fußes so, daß das Fallgewicht mitten über der Oeffnung des Anhalters steht. Bevor man zum wirklichen Versuche schreitet, muß noch die Reibung ausgeglichen werden, es geschieht dieses durch Blechscheiben, wie Fig. 113, von verschiedener Dicke, sie werden auf das Fallgewicht gelegt, bis dieses auch bei einem leichten Stoße mit dem Finger die ganze Skalenlänge gleichförmig durchläuft, ohne aber von selbst die Reibung überwinden zu können.

Fig. 113.



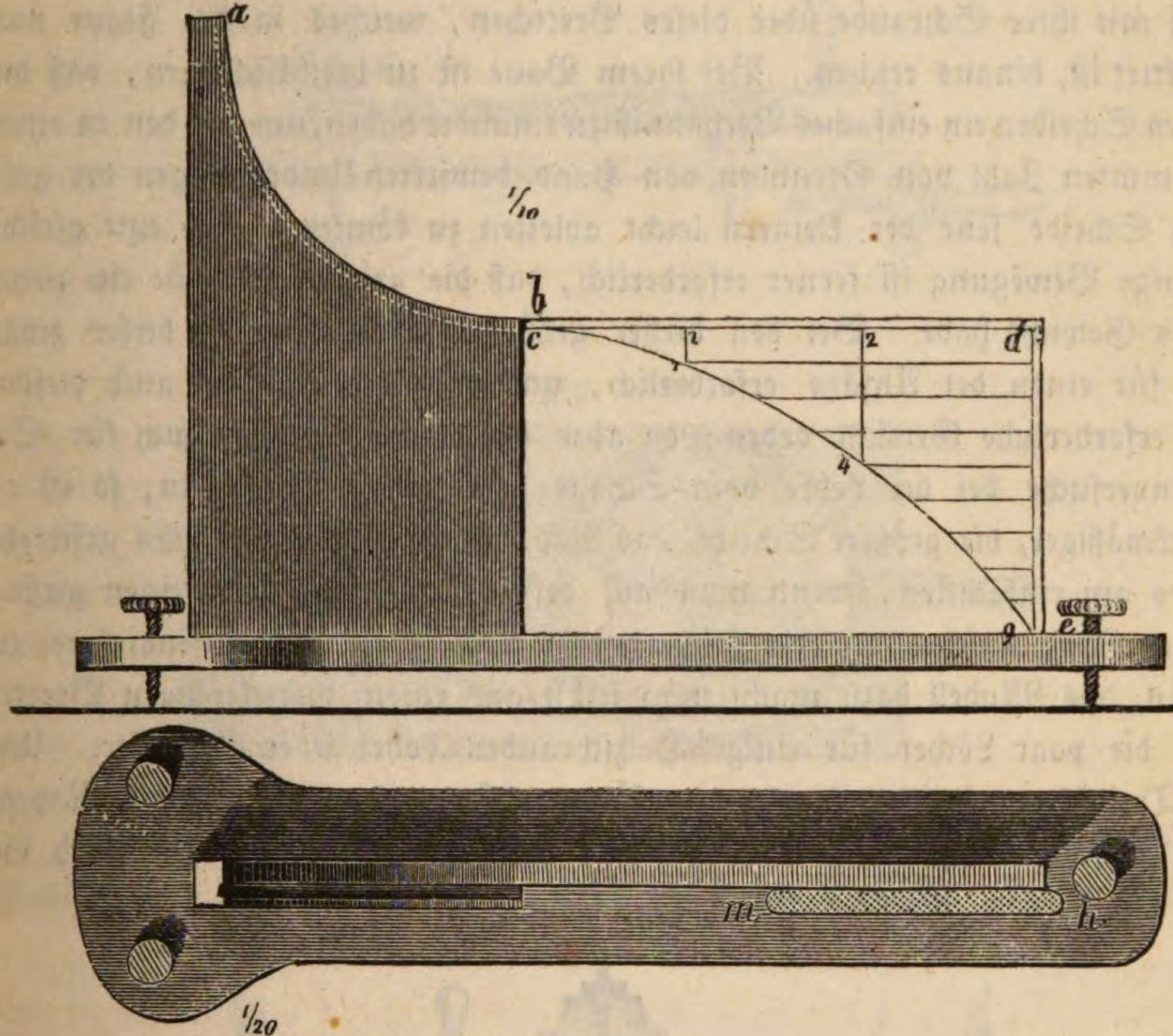
Ist das Fallgewicht auf den Nullpunkt der Skale gestellt, so hat man noch bevor man das Pendel in Bewegung setzt, dafür zu sorgen, daß die Gewichte vollkommen ruhig hängen, ohne dieses werden die Versuche nicht gut zutreffen. Alles übrige hängt von der speciellen Einrichtung der Maschine ab und es läßt sich daher im Allgemeinen nichts darüber sagen.

Man könnte die Fallgesetze auch auf einem langen schiefen Balken, der eine wohl geebnete Rinne hat, durch herabrollende Kugeln zeigen, wie es Galiläi that, allein die genaue Bearbeitung einer solchen Rinne ist wohl kostspieliger und bei weitem schwieriger als die einer Atwood'schen Fallmaschine.

85 **Die Wurfbewegung.** Die parabolische Bewegung geworfener Körper kann man am einfachsten durch die Figur 114 abgebildete Vorrichtung zeigen, wobei ein durch die Rinne *a b* herabrollendes Kügelchen vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit die Parabel *b* 1, 4, *g* beschreibt. Die Rinne *a b* derselben ist kreisförmig und wird mit Bimsstein gut ausgeschliffen. Man muß besonders darauf sehen, daß die auf dem Brettchen *b e* vom Grunde der Rinne aus gezogene horizontale Linie *c d* wirklich die Tangente der Rinne sei. Man wird aber nie die theoretische Wurfsgeschwindigkeit erlangen und es ist daher am besten, wenn man vor Aufzeichnung der Parabel das Kügelchen durch die Rinne laufen läßt und die Größe der

Wurfsweite durch Erfahrung sucht; dann erst wird die derselben entsprechende Parabel c 1, 4, g aufgezeichnet. Das Grundbrett enthält eine Vertiefung

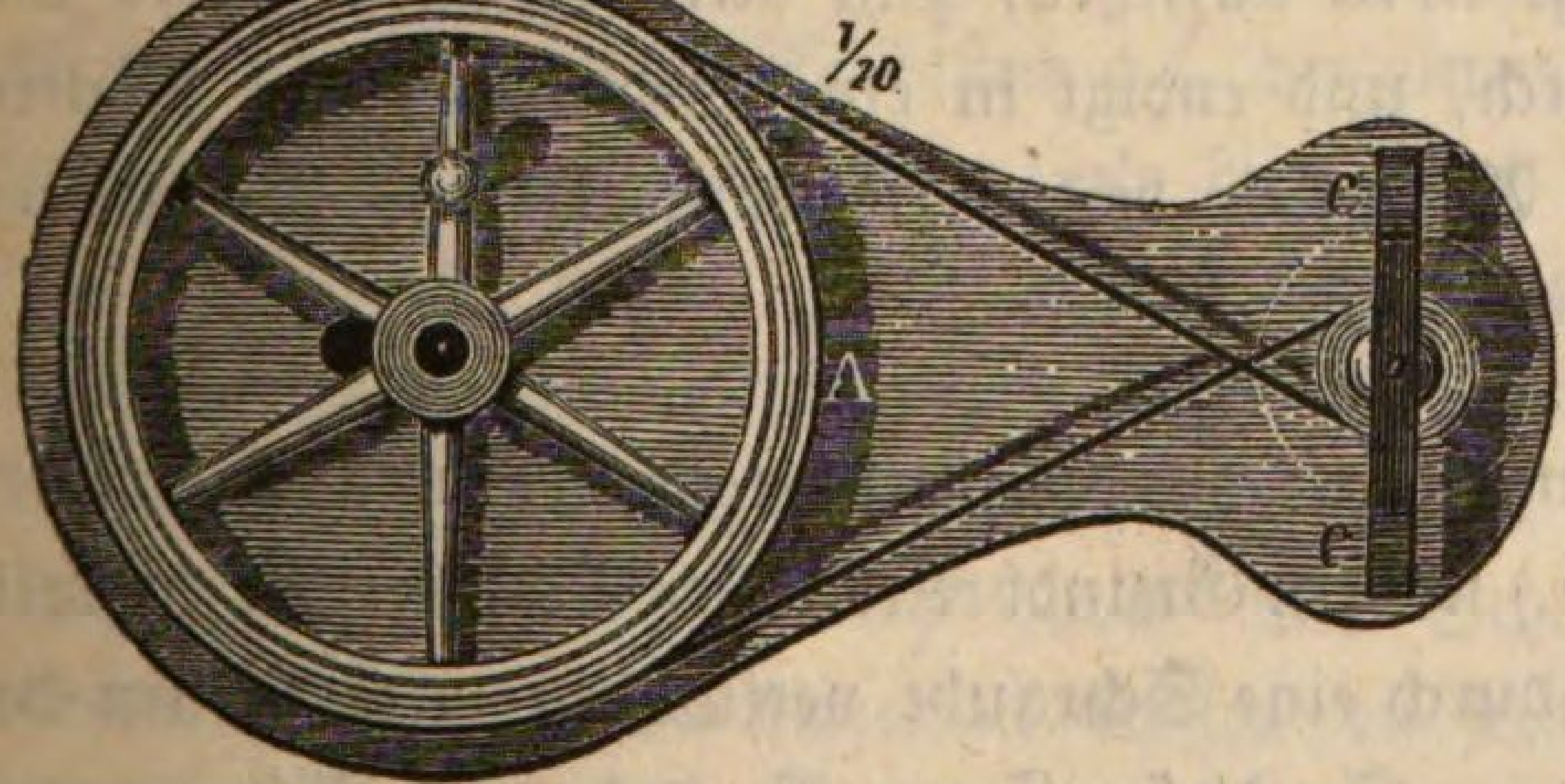
Fig. 114.



mn, die man mit Sand füllt, damit die Kugel liegen bleibe. Vor dem Versuche muß der Apparat durch die Stellschrauben vertikal gestellt werden. Das Brettchen be wird aus Ahorn gemacht, damit die stark aufgetragenen Linien von Weitem gesehen werden können. Nimmt man anderes Holz, so muß dasselbe mit Papier bezogen werden.

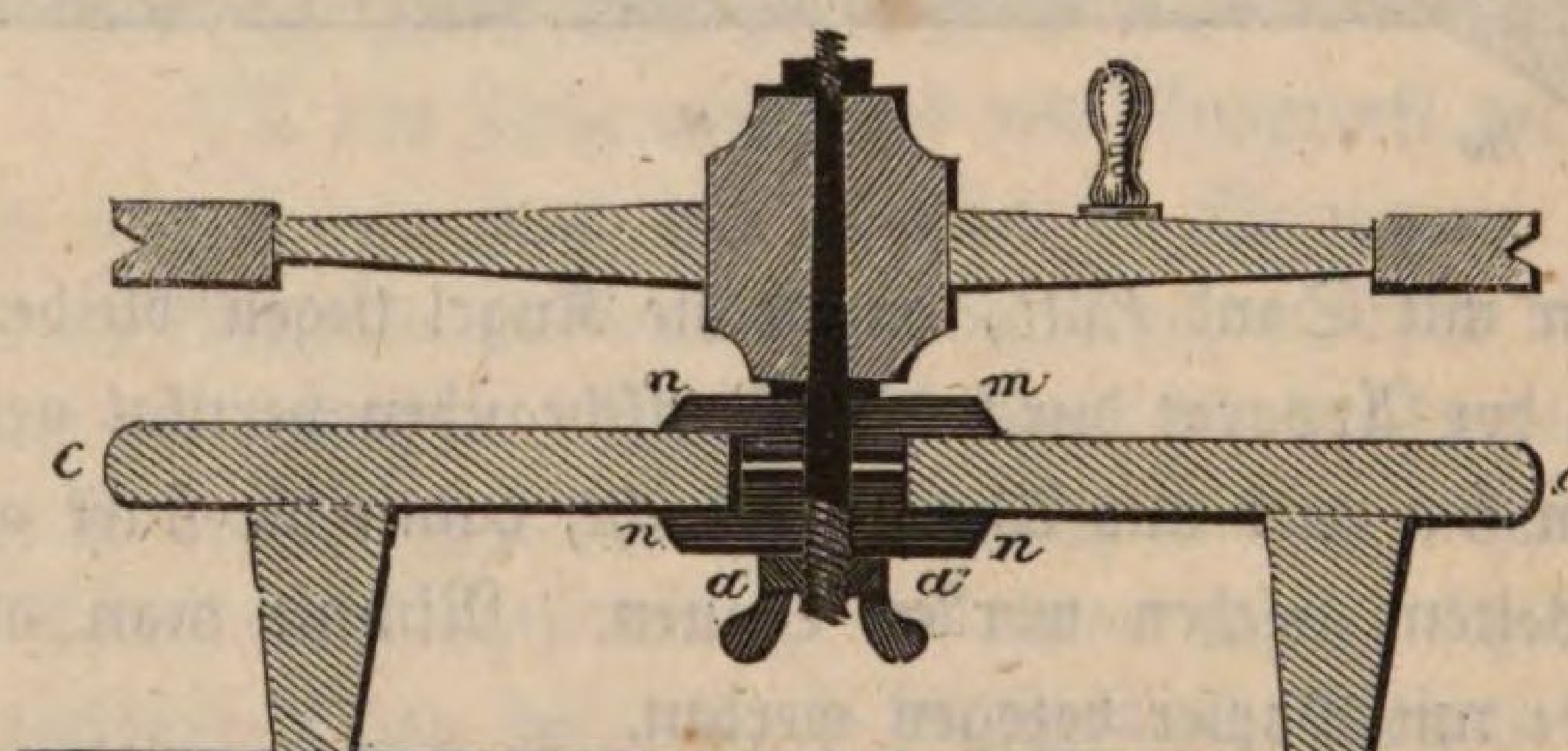
Die Centralbewegung. Zur Erläuterung der Gesetze derselben 86
dient die Schwungmaschine. Sie besteht im Wesentlichen aus einem größern Rade A, A, Fig. 115, mit Schnurlauf um ein kleineres B, auf dessen Axe verschiedene Aufsätze geschraubt werden können, in schnelle drehende Bewegung zu versetzen. Letzteres hat den einen Stützpunkt im Grundbrette,

Fig. 115.



den andern in dem Bügel *CC*; dieser ist oberhalb eben, um noch ein kreisrundes Brettchen durch Schrauben darauf befestigen zu können, was aber erst für einen elektrischen Versuch nöthig ist. Die Axe von *B* muß mit ihrer Schraube über dieses Brettchen, welches in der Figur nur punktirt ist, hinaus reichen. Bei ihrem Baue ist zu berücksichtigen, daß die beiden Scheiben ein einfaches Verhältniß zu einander haben, um aus den in einer bestimmten Zahl von Secunden von Hand bewirkten Umdrehungen der größern Scheibe jene der kleinern leicht ableiten zu können. Für eine gleichförmige Bewegung ist ferner erforderlich, daß die größere Scheibe ein ziemliches Gewicht habe. Bei den hieher gehörigen Versuchen ist dieses zwar nur für einen der Ansätze erforderlich, und man könnte daher auch diesem das erforderliche Gewicht geben; da aber der gleiche Apparat auch für Sirenenversuche bei der Lehre vom Schalle gebraucht werden kann, so ist es zweckmäßiger, die größere Scheibe, das Rad, schwer zu machen. Es geschieht dieses am einfachsten, wenn man auf dessen Kranz unterhalb einen gußeisernen Ring anschraubt, ein solcher ist ja wohlfeil in jeder Eisengießerei zu haben, das Modell dazu macht man selbst aus einem viertelzölligen Brette, und die paar Löcher für einige Holzschrauben bohrt jeder Schlosser. Um die Treibschnur beliebig spannen zu können, kann man die Axe des Rades, wie in Fig. 116, im Grundbrette beweglich anbringen und sie durch die

Fig. 116.



Schraube *a*, nachdem die Schnur gespannt ist, befestigen. Die Axe muß dann breit auf dem Querholze *mm* aufsitzen, geht viereckig durch dieses und das untere Querholz *nn* durch, und endigt in eine Schraube; eine Mutter *aa* mit Lappen dient zum Anpressen beider Hölzer gegen das Grundbrett *cc*, wodurch die Axe festgestellt wird.

Anstatt dieser Befestigungsweise des Schwungrades kann auch, wie in den Figuren 117, 118 (a. f. S.) in dem Grundbrette *A* der Schieber *B*, in welchen die Axe fest gemacht ist, durch eine Schraube verschoben werden, um dadurch den Riemen zu spannen. In dieser Figur ist auch das Schwungrad von Eisen und der untere Tragpunkt der Axe der Rolle durch eine Schraube

angegeben, dagegen ließe der Bügel D die Anbringung des erwähnten kreisrunden Brettchens nicht zu.

Fig. 117.

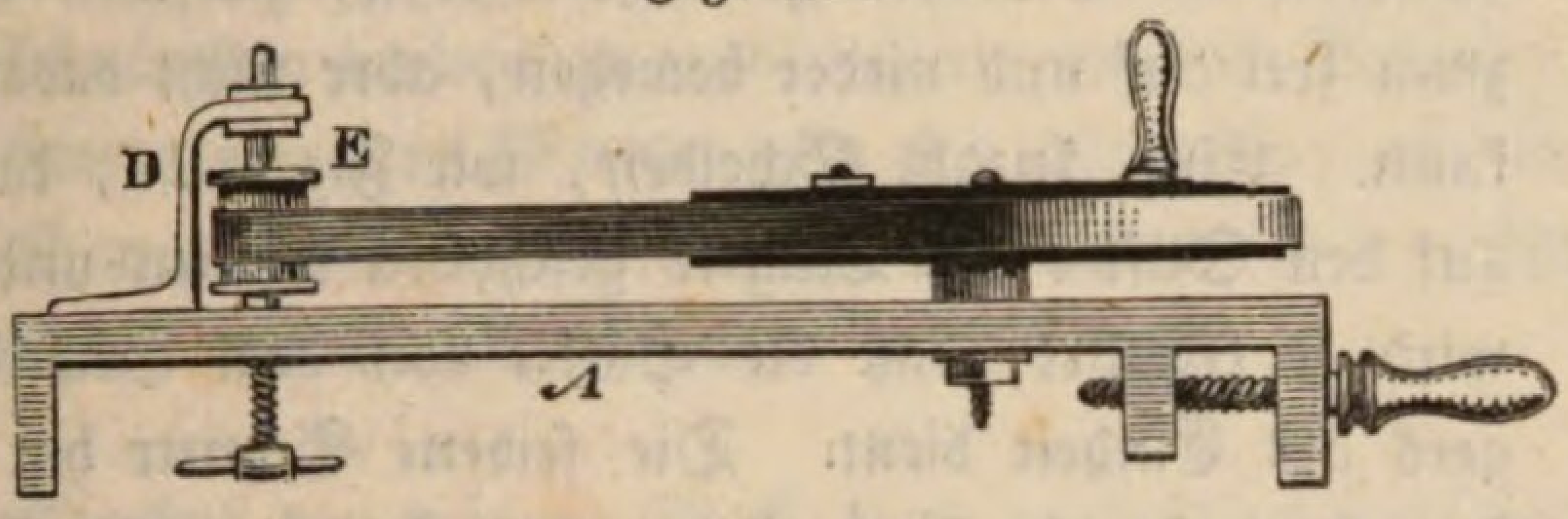
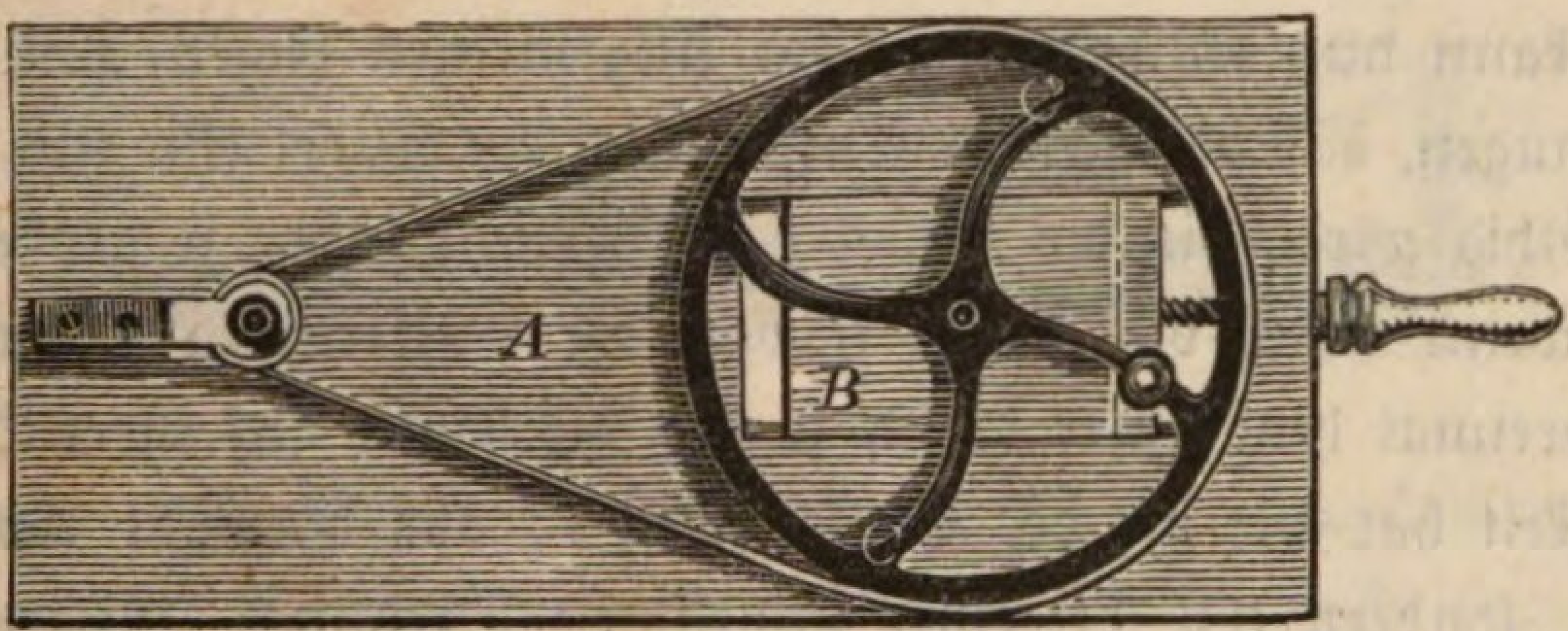
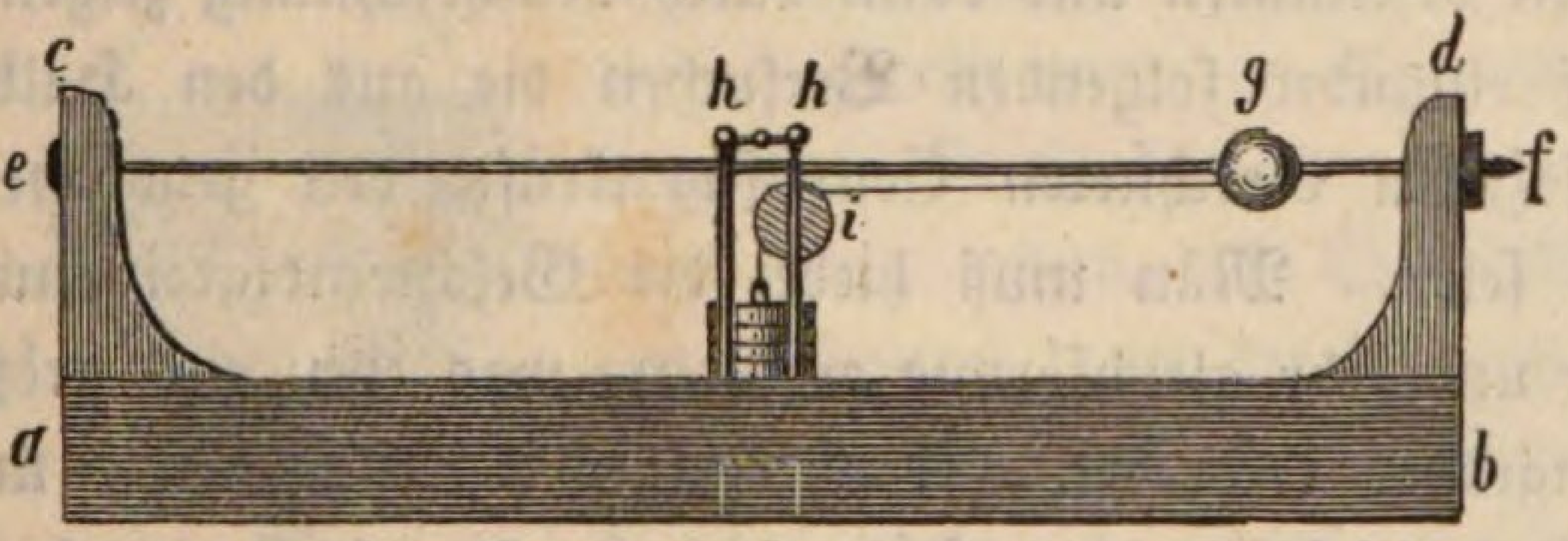


Fig. 118.



Versuche mit der Schwungmaschine. 1) Auf die Axe der Rolle 87
schraubt man den Ansatz, den Fig. 119 in $^1/_{10}$ der wirklichen Größe zeigt, er

Fig. 119.



besteht aus einem starken Holze $a\,b$, das außerhalb und von unten noch mit Blei ausgegossen wird (wenn das Rad selber die erforderliche Schwere hat, so braucht dieses Holz wie bei den folgenden Ansätzen nur 1 Zoll dick zu sein), und auf welches die Lappen $a\,c$, $b\,d$ eingezapft sind. Durch diese Lappen geht ein abgesmirgelter Stahlstab $e\,f$, der einerseits bei e einen Kopf, anderseits bei f eine Schraube hat, und hier durch eine Mutter befestigt wird; er ist 1 — $1^1/_2$ Linien dick. Auf diesem Drahte kann die central durchbohrte hölzerne oder elfenbeinerne Kugel g leicht gleiten. Genau im Quadrate um den Umdrehungsmittelpunkt stehen vier Messingstäbchen h, h, welche über dem Drahte $e\,f$ durch mit Schrauben versehene Querstücke verbunden sind. Zwei derselben tragen die leicht bewegliche Rolle i, deren Schnurlauf auf der Seite gegen die Mitte dem Mittelpunkt selbst entspricht. Von einem Häkchen der Kugel g läuft eine seidene Schnur über i und ist

anderseits an einen Träger von Messing, den Fig. 120 zeigt, befestigt; die Scheibe kk desselben ist so groß, daß sie nur in schiefer Lage zwischen die Stäbchen gebracht werden, zwischen denselben sich zwar frei auf und nieder bewegen, aber nicht daraus entfernen kann. Eine Anzahl Scheiben, wie Fig. 121, kann ebenfalls auf den Stift l des Trägers geschoben werden und ihr Gewicht wird so regulirt, daß die Hälfte von dem Gewichte des Trägers als Einheit dient. Die seidene Schnur hat drei Schleifen, so daß mittelst derselben die Kugel g in Entfernungen vom Mittelpunkte, die sich verhalten wie 1 : 2 : 3, angehängt werden kann.

Fig. 120.



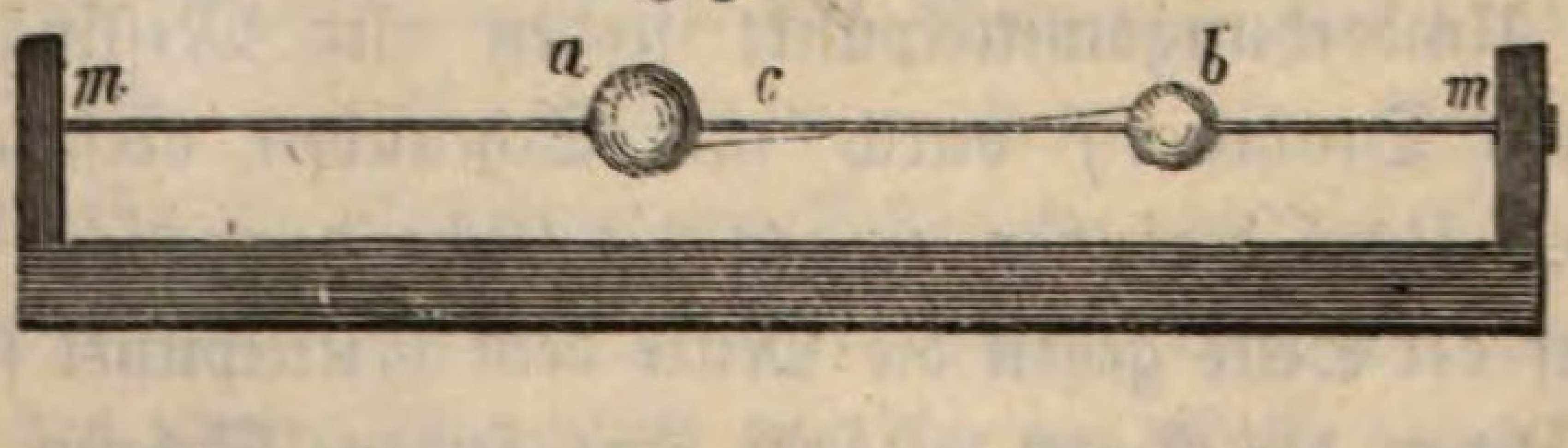
Fig. 121.



Man kann nun entweder nur im Allgemeinen zeigen, und dieses wird meistens genügen, daß bei gleicher Entfernung der Kugel eine um so schnellere Drehung nöthig wird, bis die Kugel das Gewicht hebt, je größer dieses ist, und daß, wenn man die Kugel g von der Entfernung 1 auf 3 bringt, dafür aber dreimal langsamer dreht, so daß die Kugel auf ihrer Bahn gleiche Geschwindigkeit hat wie bei der Entfernung l, das Gewicht noch nicht gehoben wird, sondern erst bei einer schnelleren Drehung. Man kann aber auch nach einem Pendel die Zahl der Umdrehungen des großen Rades, und aus dessen Verhältniß zur Rolle die Zahl der Umdrehungen der Kugel in einer bestimmten Zeit, folglich die den Halbmessern 1, 2, oder 3 entsprechenden Umlaufszeiten bestimmen und dann durch Nachrechnung zeigen, daß immer in zwei auf einander folgenden Versuchen die aus den Halbmessern und den Umlaufszeiten berechneten Centrifugalkräfte den gehobenen Gewichten proportional seien. Man muß hiebei die Geschwindigkeit nur sehr langsam steigern und sehr gleichförmig erhalten, was eben eine größere Schwere des Schwungrades erfordert. Nach einiger Uebung bringt man es schon dahin, das Gewicht in geringer Höhe so lange schwebend zu erhalten, um jetzt die Umdrehungszeit mit dem Pendel zu bestimmen. Man kann den Augenblick, wo das Gewicht gehoben wird, dadurch sehr leicht beobachten, daß man auf bb genau in der Mitte eine Papierscheibe leimt, die mit den messingenen Gewichten gleich groß ist, und also erst sichtbar wird, wenn diese sich heben.

2) Daß bei gleicher Umdrehungszeit die Centrifugalkraft dem Halbmesser aber auch der Masse proportional sei, kann man durch den Ansatz Fig. 122

Fig. 122.



zeigen. Die Gewichte der beiden (gewöhnlich) elfenbeinernen Kugeln *a*, *b* verhalten sich wie 2 : 1, und beide können sich leicht auf dem höchstens eine Linie starken und gut abgezogenen Drahte *mm* verschieben. Sie sind durch ein seidenes Schnürchen verbunden und werden vor dem Versuche so gestellt, daß ihre Entfernungen vom Mittelpunkte sich umgekehrt wie ihre Massen verhalten. Ist man hierin genau gewesen, so halten sich die Kugeln bei jeder Geschwindigkeit das Gleichgewicht.

3) Den Einfluß der größern Masse kann man durch den leicht anzufertigenden Ansatz Fig. 123 zeigen. *a b*, *c d* sind zwei einerseits zugeschmolzene

Fig. 123.



etwa fingerweite Glasröhren, sie werden zu $1/3$ mit Quecksilber und zu $1/3$ mit Wasser gefüllt, $1/3$ bleibt leer; das offene Ende verkorkt man gut. Bei *a* und *d* sind sie etwas in die Lappen *m n* eingelassen, und bei *b c* werden sie durch das halb cylindrische auf *o o* geschraubte Holz *e* gehalten; letzteres ist beiderseits so ausgehöhlt, um gerade die verkorkten Enden der Glasröhren aufzunehmen. Dreht man den Apparat schnell, so nehmen die Flüssigkeiten die umgekehrte Ordnung ein, indem das Quecksilber nach *a* und *d* kommt, und die Röhren bei *b* und *c* leer bleiben. Daß die Centrifugalkraft überhaupt schnell wächst und größer wird als die Schwere, kann man auch dadurch zeigen, daß man ein an drei Schnüren angebundenes und mit Wasser gefülltes Trinkglas, wie Fig. 124, im Kreise herumschwenkt.

Fig. 124.

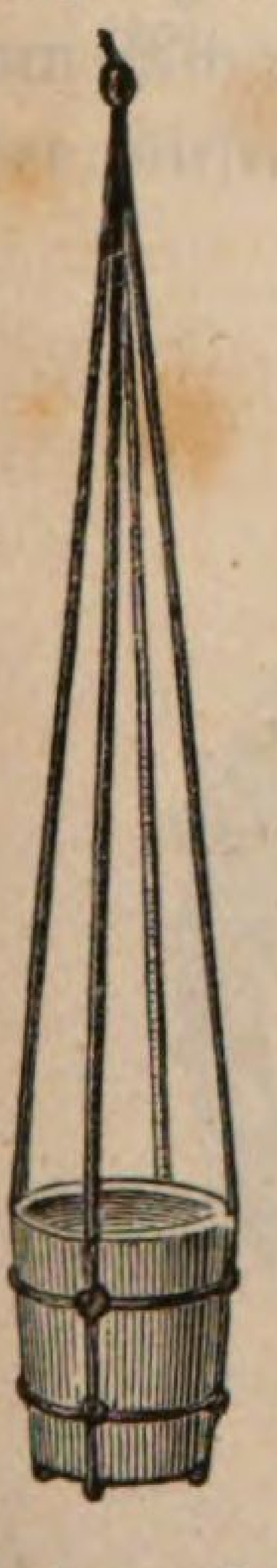
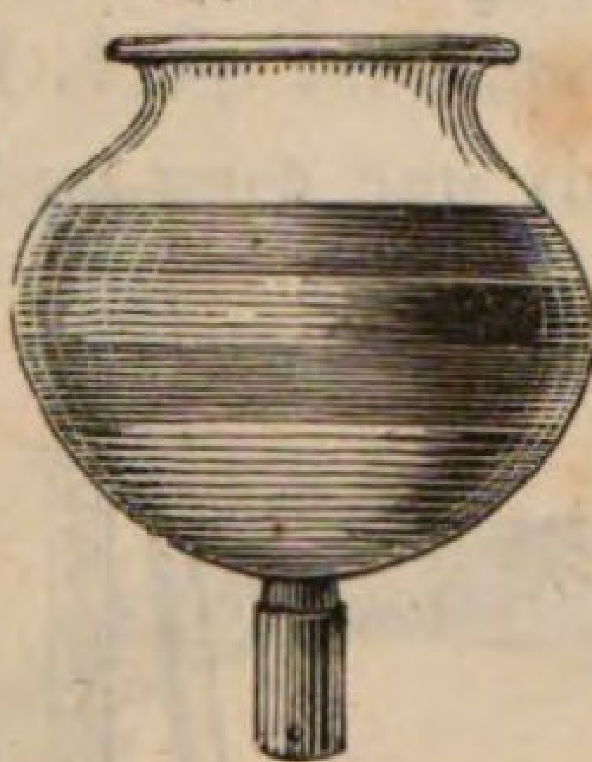


Fig. 125.

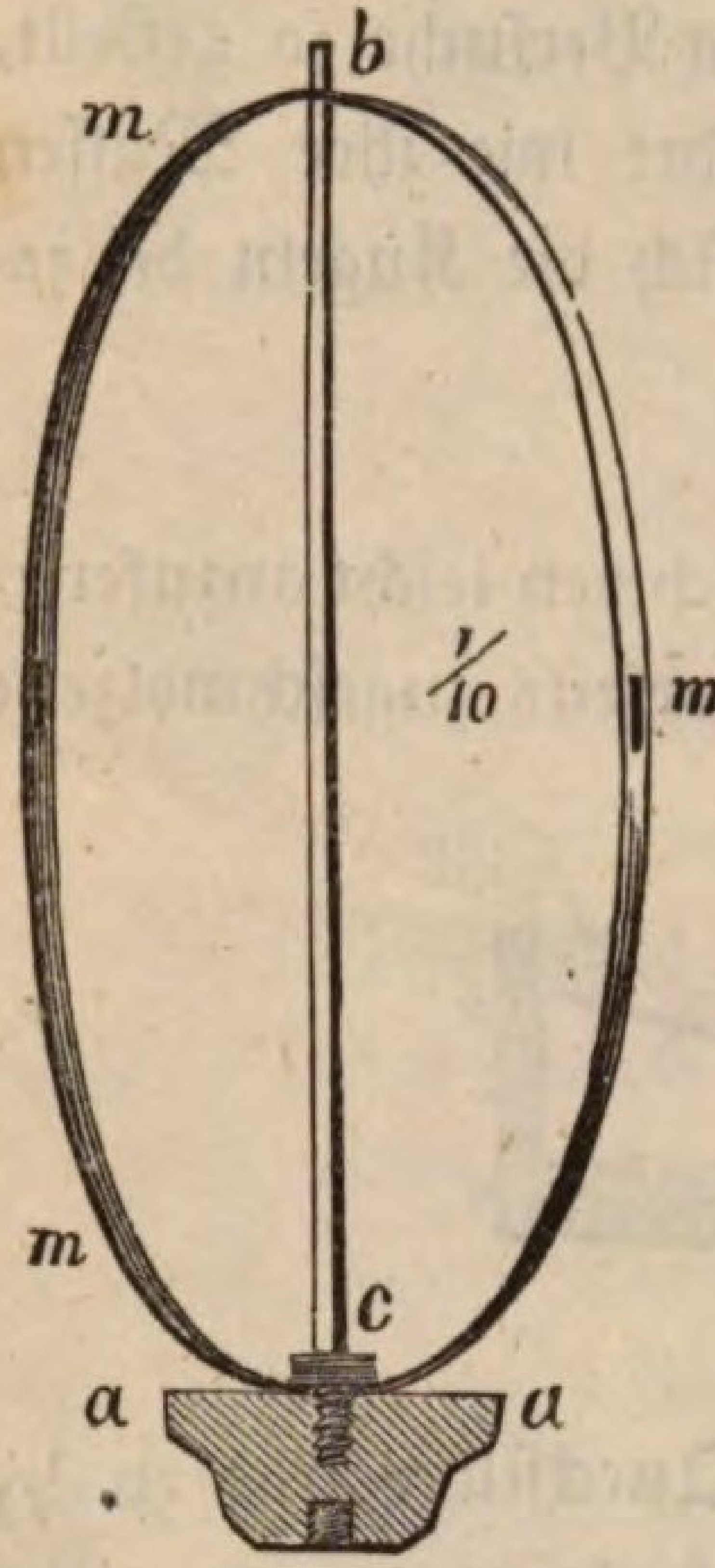


Schöner kann man denselben Versuch durch den Apparat Fig. 125 zeigen; er besteht in einem bauchigen Glasgefäße, welches mit einer hölzernen Fassung versehen ist, um es auf die Schwungmaschine zu schrauben. Man gießt Quecksilber und gefärbtes Wasser hinein, jedoch nicht ganz so viel als erforderlich ist, um den ausgebauchten Raum auszufüllen, so daß für den mit der Weite der Oeffnung gleich dicken cylindrischen Raum des Gefäßes nichts übrig bleibt. Wird das Gefäß schnell gedreht, so bilden die Flüssigkeiten Ringe in dem bauchigen Theile.

4) Daß die Schwungkraft die Abplattung der Erde bewirke, zeigt man

durch den Ansatz Fig. 126. Er läßt sich sehr einfach auf folgende Weise herstellen: *a a* ist ein abgedrehtes Stückchen hartes Holz, daß auf die Axe

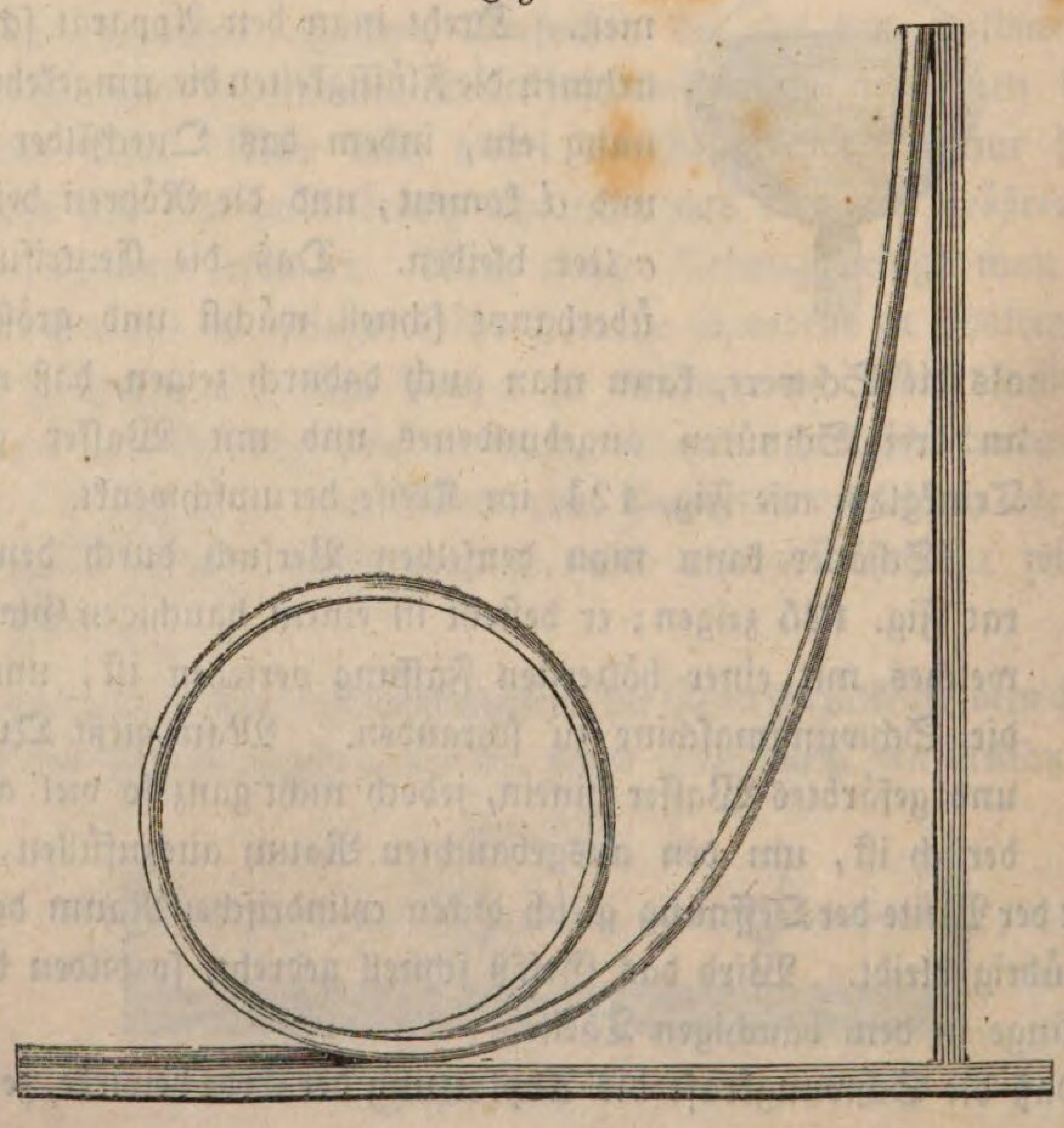
Fig. 126.



der Rolle der Schwungmaschine geschraubt werden kann, *b c* ist ein dünnes viereckiges Eisenstäbchen, welches bei *c* etwas gestaucht ist, und unterhalb in eine gute Holzschraube endigt; *m m m* ist ein gebogener drei Linien breiter Streifen aus dünnem Messingblech, welcher in der Mitte und an beiden Enden viereckige dem Stäbchen *b c* entsprechende Löcher hat. Dieser Streifen wird, wie die Figur zeigt, auf das Stäbchen gesteckt und die beiden Enden gegen das Holz *a a* festgeklemmt. Dreht man schnell, so biegt sich der Streifen zu einem Sphäroid. Zwei Streifen rechtwinklicht zu einander auf gleiche Weise an das Stäbchen befestigt, zeigen durch ihren größeren Glanz beim Umdrehen das Sphäroid besser.

Die Wirkung der Schwungkraft kann auch sehr gut an der Centrifugal-Eisenbahn erläutert werden. Man kann dergleichen um billiges Geld im Spielwaaren-Laden erhalten, oder, wenn dieses nicht der Fall sein sollte, eine Blechrinne, wie Fig. 127, auf ein hölzernes Gestelle anbringen, wo der Halbmesser des Ringes etwa

Fig. 127.



$^1/_{10}$ von der ganzen Fallhöhe betragen muß. Eine wohlabgerundete Bleikugel durchläuft dann die ganze Bahn, wenn sie in der gehörigen Höhe in die Rinne gelegt wird.

Das Bohnenberger'sche Maschinchen. Um zu zeigen, daß die Schwungkraft jedes Theilchen eines Körpers hindert, die Ebene seiner Umdrehung zu verlassen, ist das genannte Maschinchen vorzüglich geeignet; es wird darum ein nothwendiger Apparat, indem nur dadurch, daß der angeführte Satz gehörig klar gemacht wird, die Erscheinung der Jahreszeiten erklärt werden kann. Allerdings haben wir noch sehr viele Gelegenheit, denselben Satz zu zeigen, jeder Kreisel bietet dieselbe dar, allein so bequem zur Demonstration, wie das Bohnenberger'sche Maschinchen, ist keine andere Vorrichtung. Die Handhabung desselben bietet keine Schwierigkeiten; man hat nur den Faden um die Rolle der Kugel so zu wickeln, daß die letzte Windung sich von selbst löst, dann den innersten Ring in einer schiefen Lage mit der einen Hand zu halten, während man mit der andern den Faden abzieht, wobei man jedoch nicht mit einem raschen Rucke anfangen darf. Es ist räthlich diesen Apparat nur vom Mechanikus zu beziehen. 88

Das Pendel. Um die Lehre vom Falle der Körper durch die Sehnen und Bogen oder den Durchmesser eines Kreises zu erläutern, kann man den Apparat Fig. 128 und 129 anwenden. Er besteht aus einem hölzernen Ringe *A A A*, der innerhalb eine wohlausgeglättete Hohlkehle *a a a* hat; dieser Ring wird von einem kleinen Fuße auf einem Grundbrette mit 89

Fig. 128.

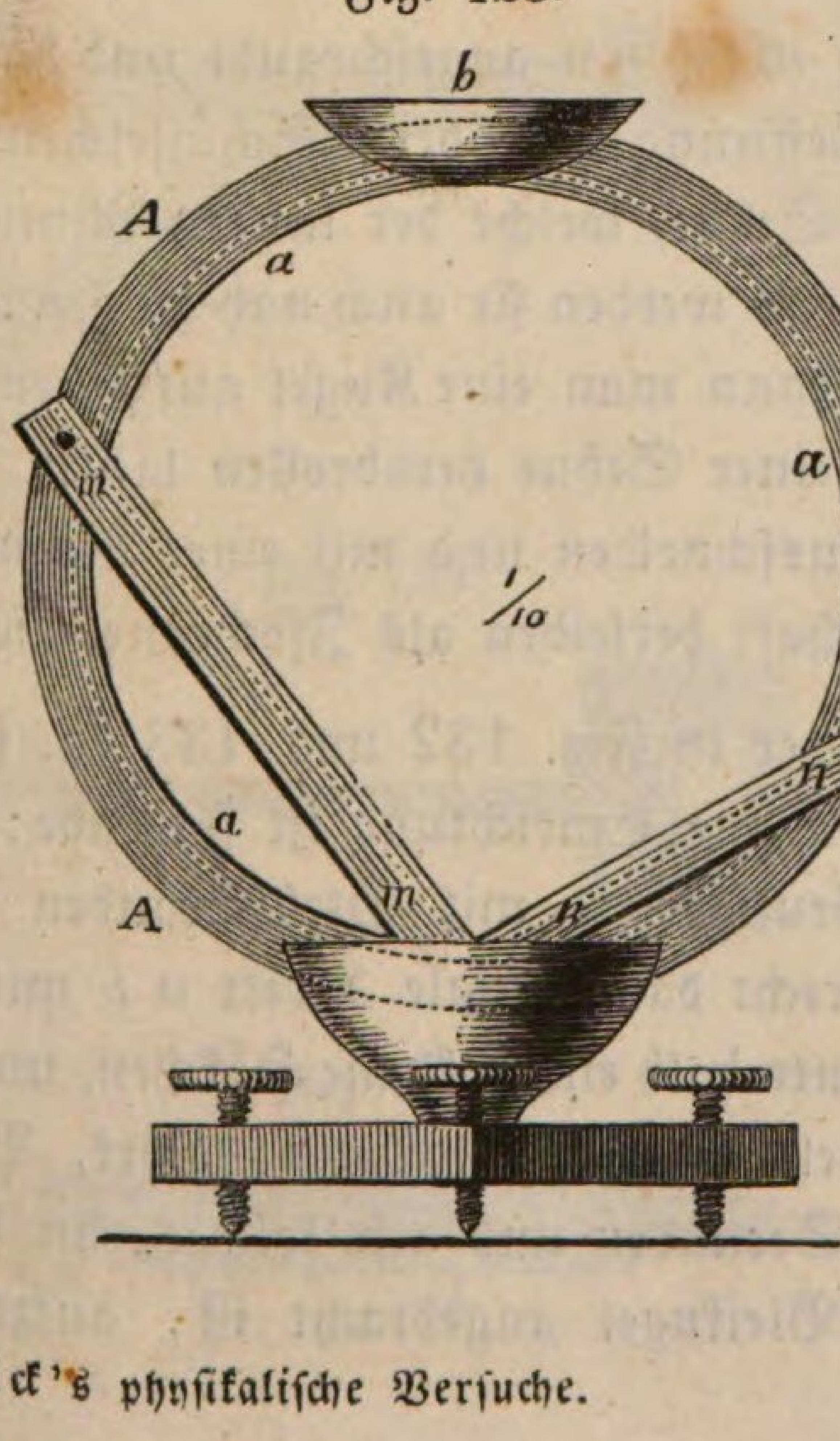
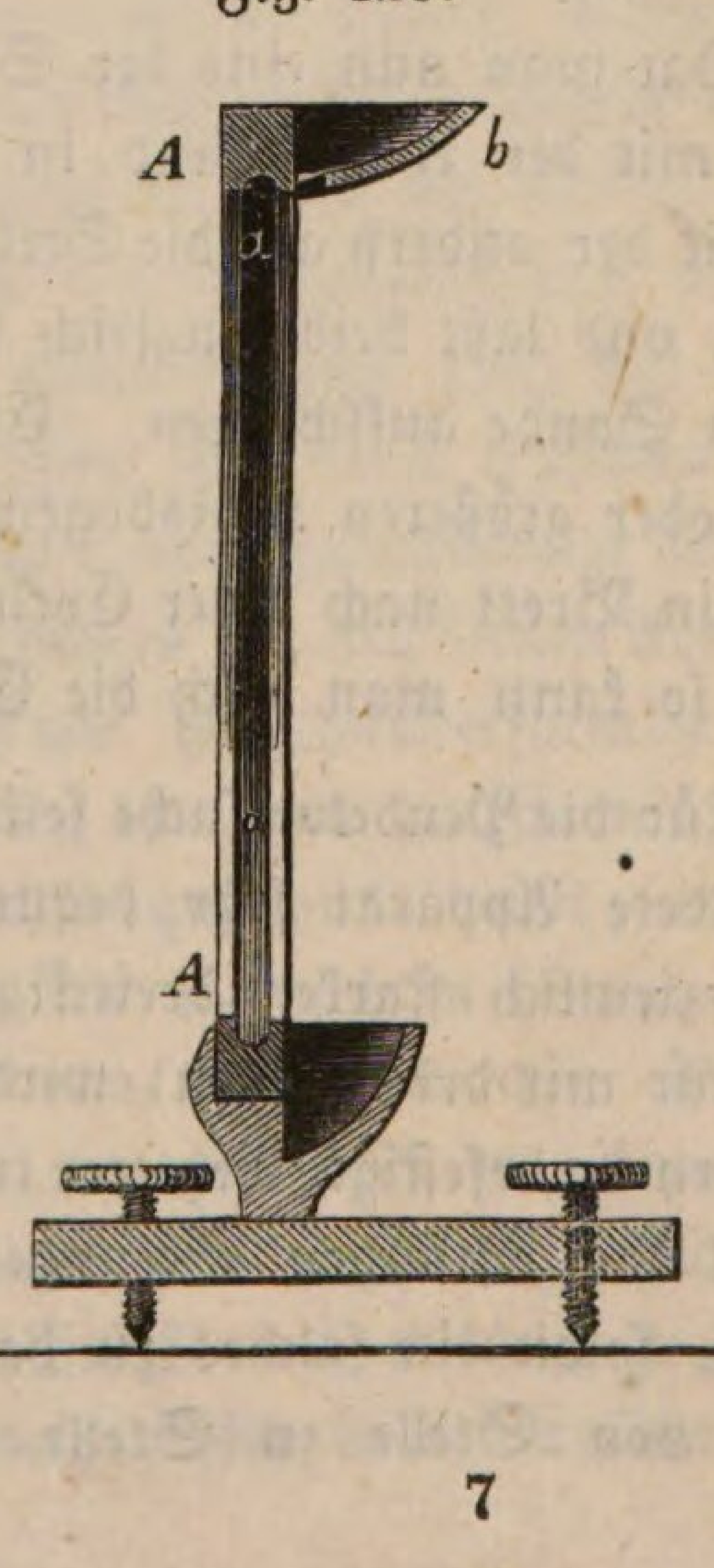


Fig. 129.



Stellschrauben getragen, und der Fuß erweitert sich einerseits zu einem kleinen Schüsselchen für Sand. An seinem höchsten Punkte trägt der

Fig 130.

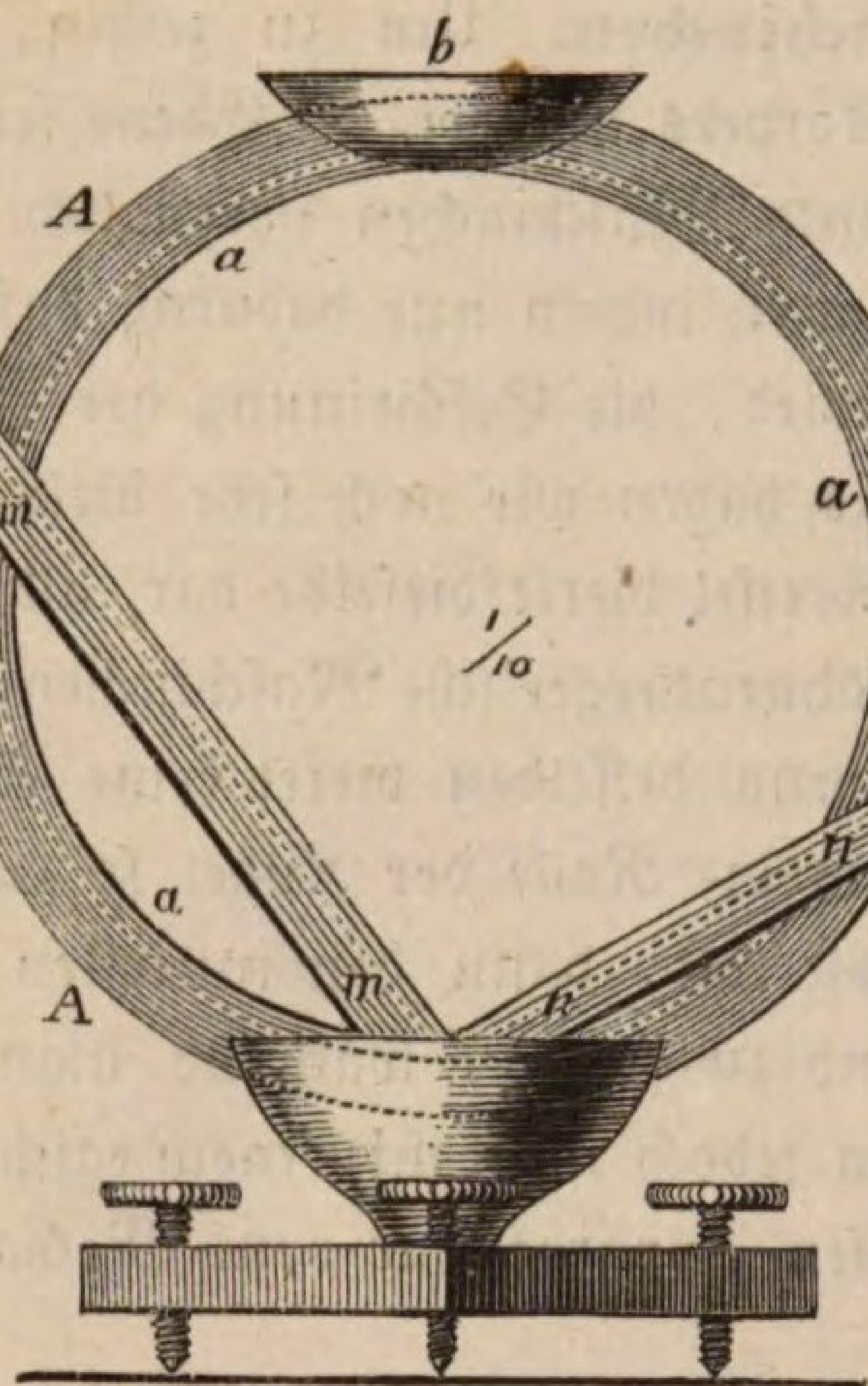
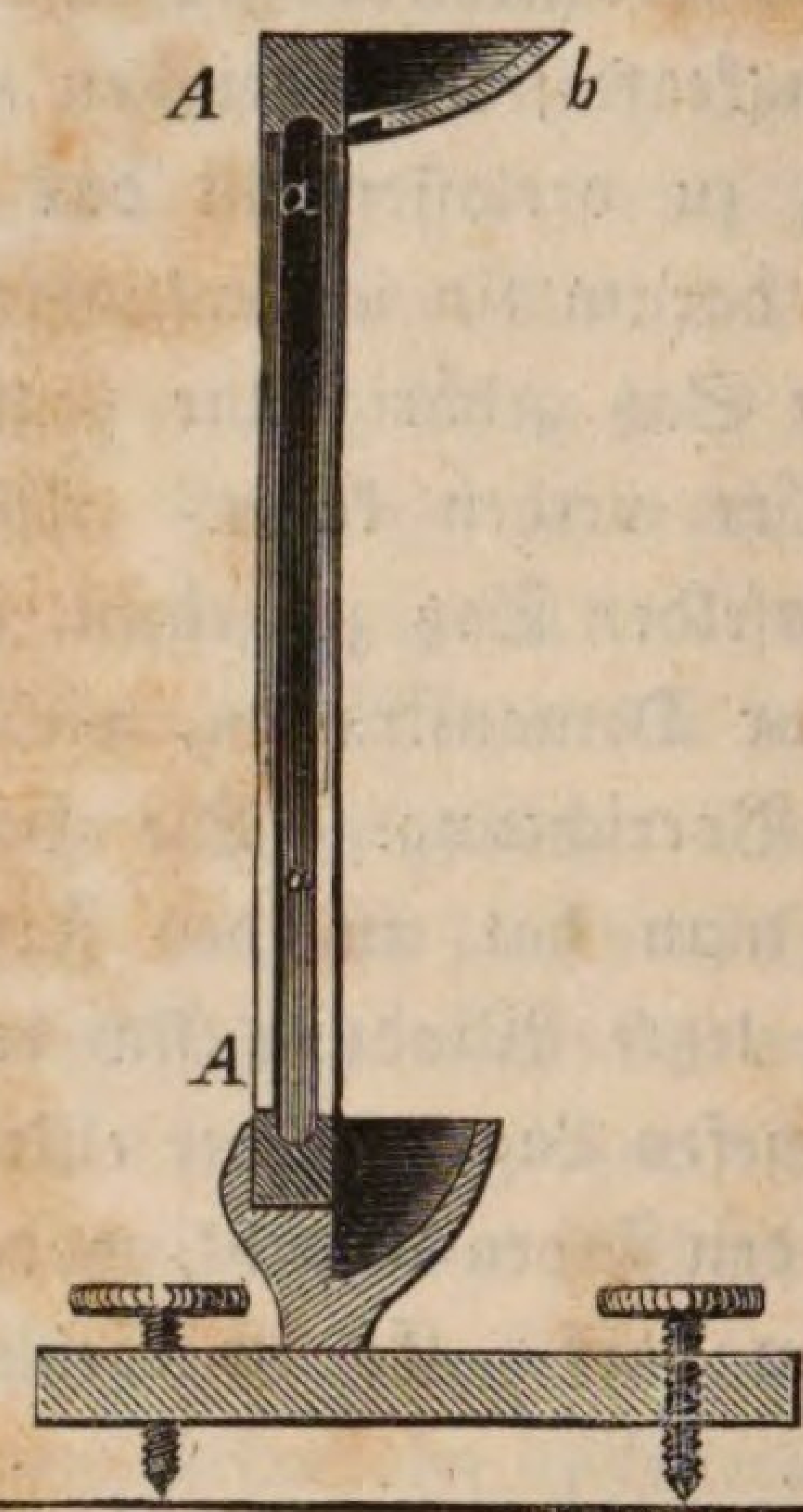


Fig. 131.



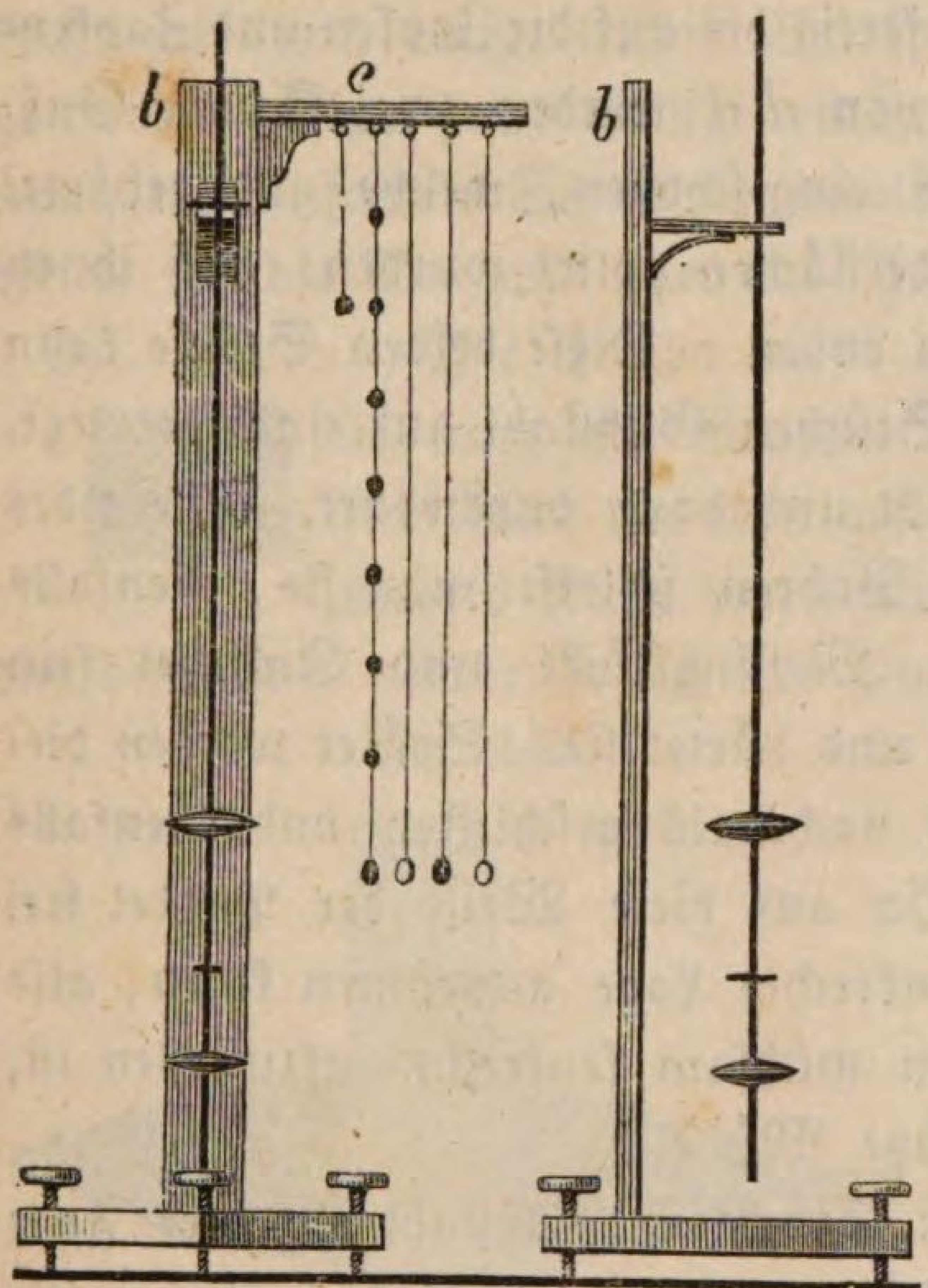
Ring diesem Schüsselchen gegenüber ein ähnliches aber ganz flaches, *b*, oder auch ein ebenes Brettchen mit einer Oeffnung, deren Höhe und Weite der inneren Rinne *a a a* gleich ist. Seitwärts kann man an den Ring eine oder mehrere schiefe Ebenen *mm*, *nn*, die gleichfalls mit Rinnen versehen sind, anschrauben.

Hat man nun eine der Sehnen *mm*, *nn* angeschraubt und hält eine Kugel mit der einen Hand in die Oeffnung des obern Schüsselchens und eine mit der andern auf die Stelle der Sehne, welche der innern Rinne entspricht, und läßt beide zugleich fallen, so werden sie auch nahezu gleichzeitig in dem Sande aufschlagen. Ebenso kann man eine Kugel auf einem kleineren oder größeren Kreisbogen und einer Sehne herabrollen lassen. Läßt man ein Brett nach einer Cycloide ausschneiden und mit einer Rinne versehen, so kann man auch die Eigenschaft derselben als Isochrone zeigen.

90 Für die Pendelversuche selbst ist der in Fig. 132 und 133 (a. f. S.) abgebildete Apparat sehr bequem. Seine Einrichtung ist folgende: Auf einem ziemlich starken dreieckigen Grundbrette mit Stellschrauben (oder auch nur mit drei Füßen) wird senkrecht das schmale Brett *a b* mit dem Querarme *c* befestigt. Letzterer trägt unterhalb einige kleine Häkchen, um eine Anzahl von einfachen Secundenpendeln aus Blei, Stein, Kork, Wachs u. dgl., sowie ein solches zu halben Secunden und ein solches, an dessen Faden von Stelle zu Stelle eine Bleikugel angebracht ist, aufzuhän-

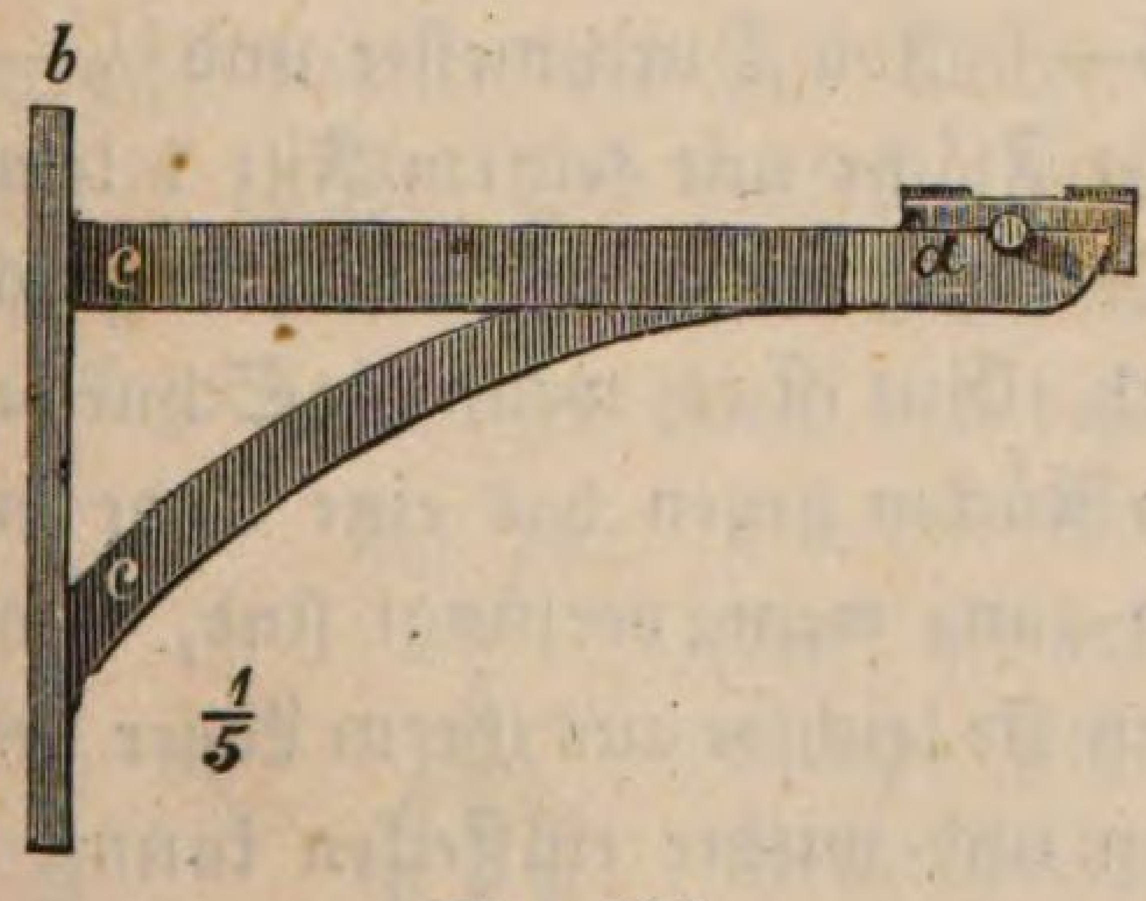
gen. Die Länge der einfachen Secundenpendel wird vom untern Theile

Fig. 132. Fig. 133.



des Häkchens an gemessen bis zum Mittelpunkte der Kugel, und man kann die erforderliche Länge sehr leicht dadurch genau erreichen, daß man den Seidenfaden zuerst etwas zu lang läßt und nun einige Knoten daran knüpft; auf gleiche Weise verfährt man mit dem viermal kürzeren Halbsekundenpendel. Für das aus mehreren Bleikugeln zusammengesetzte Pendel schraubt man in jede derselben zwei Häkchen diametral gegenüber. Man könnte allerdings immer eines derselben eingießen, und dann den Anguß um den Draht herum abschneiden, bevor man ihn zum Haken biegt; es dürfte aber letzteres wohl mehr Arbeit machen, da man die anderen Häkchen doch einschrauben muß. Dieses Pendel dient zur Erläuterung des Unterschiedes zwischen dem physischen und mathematischen Pendel, wenn man es zugleich mit einem solchen schwingen läßt. Außer dem

Fig. 134.



Querarm *c* befindet sich an dem Gestelle das eiserne Stück *d*, welches zum Aufhängen anderer Pendel dient, und in Fig. 134 und 135 in größerem Maßstabe abgebildet ist. Auf der Platte *b* ist der Träger *c a* festgenietet und die Platte selbst wird in das Holz des Gestelles eingelassen und durch 6 Schrauben gut befestigt; das gabelförmige Ende *a a* des Trägers hat auf seinen Armen nahe am Ende halbcylinderförmige Vertiefungen, die man zuerst mit der Feile möglichst gut ausarbeitet, und dann auf einem abgedrehten hölzernen Stäbchen von entsprechender Dicke mit Smirgel auf der Drehbank ausschleift; sie dienen als Zapfenlager für das eiserne Stück *d d*, welches in Fig. 136 nochmals größer in der Ansicht von vor-

Fig. 135.

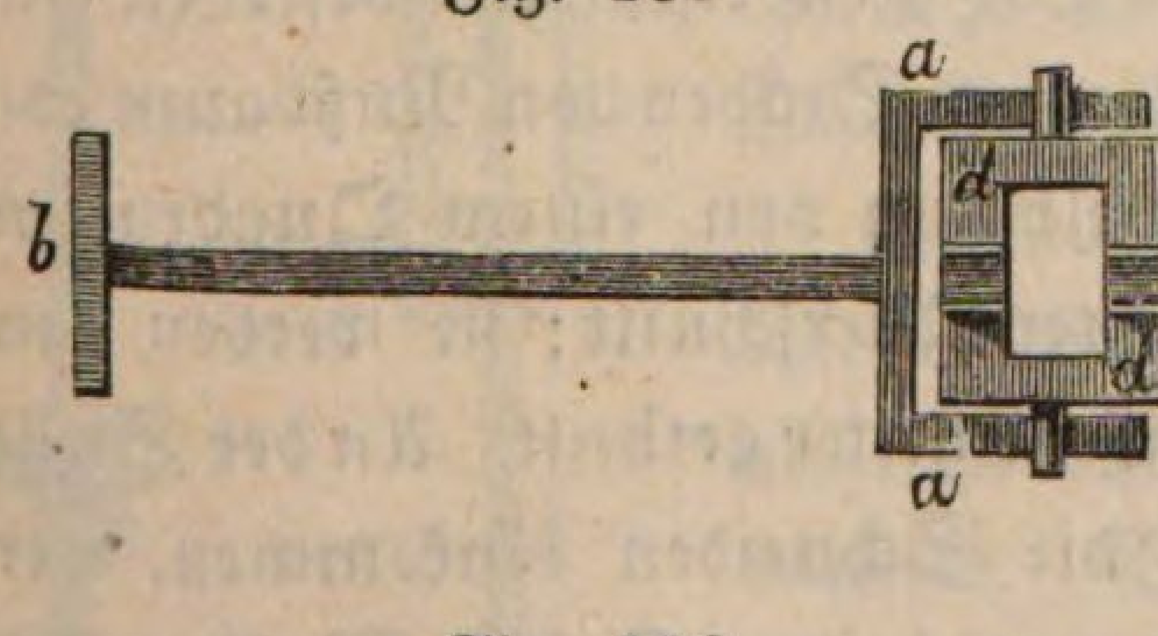
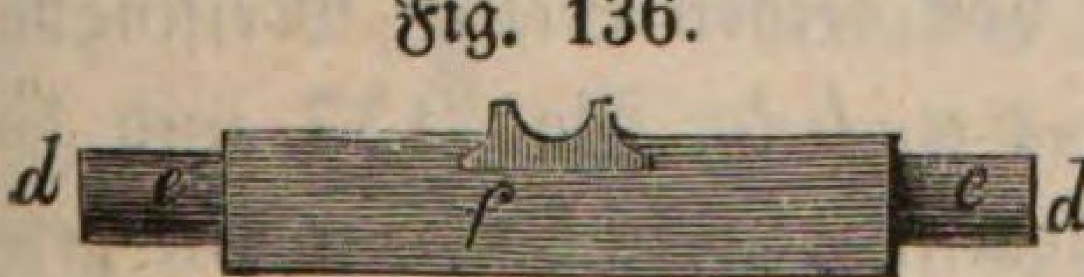


Fig. 136.



nen abgebildet ist. Dieses Stück ist aus dem Ganzen geschmiedet und die Zapfen *e e* werden abgedreht. Den Träger sammt dem Stücke *d d* macht der Schlosser und feilt denselben auch fertig bis auf die Zapfen und Zapfenlager. Auf die beiden langen Seiten von *d d* werden zwei Stücke Gußstahl von der Form wie *f* in Fig. 136 eingeschoben, welche gut gehärtet sind, ohne Anlassen, und deren Cylinderflächen polirt wurden; auf ihnen sollen die Schneiden der Pendelstangen ruhen. Diese beiden Stücke kann man so verfertigen, daß man zwei Stüchen Gußstahl auf einander legt, sie mit dem Feilkloben zusammenschraubt und dann durchbohrt, wobei jedes die halbe Bohrung erhält; nach dem Bohren schleift man sie, ebenfalls beide zugleich mit einem abgedrehten Messingstücke und Smirgel fein aus, feilt sie in die erforderliche Form und härtet sie. Später werden dieselben auf Holz mit feinem Smirgel nochmals geschliffen und ebenfalls auf Holz mit Englischroth polirt. Da auf diese Weise der Pendel frei beweglich ist und stets sogleich eine senkrechte Lage annehmen kann, also das Gestell nie mittelst Stellschrauben mühsam senkrecht aufzustellen ist, so erspart man sich dadurch viele unnütze Mühe.

Die Schneiden werden aus einem Stückchen Gußstahl mit der Feile möglichst fein zugerichtet und dann gehärtet; nach diesem schleift man sie mit Smirgel auf einer Glasplatte, um ihnen eine gerade Schneide zu geben. Zuletzt polirt man dieselben auf Leinwand mit Englischroth. Diese Arbeit geht aber viel rascher auf der Polirscheibe, die ohnehin für manche optische Artikel außerordentlich bequem ist. Sie besteht aus einer hölzernen an die Drehbank passenden Scheibe von 5—6 Zoll Durchmesser und $1/2$—2 Zoll Dicke, welche auf dem Rande und der Fläche mit feinem Filz beleimt ist. Man polirt auf ihr unter sehr rascher Drehung mit Wasser und Englischroth. Gut ist es, wenn die Schneiden am Rücken gegen das eine Ende hin um ganz wenig verjüngt sind, damit man sie leichter aus ihrem Lager nehmen und wieder einstecken kann.

Fig. 137.

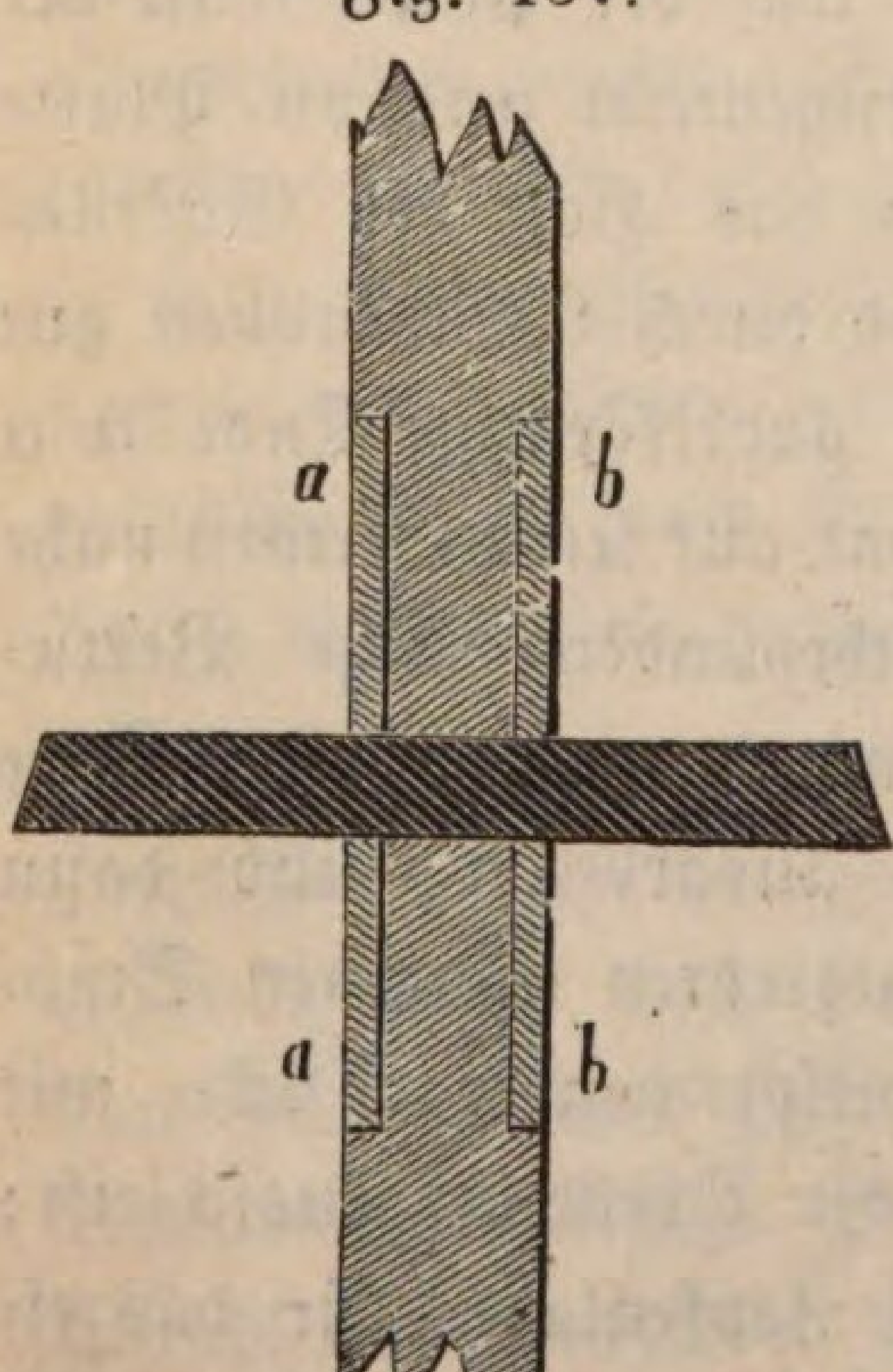


Fig. 138.



Die Pendelstangen bestehen aus hölzernen Stäben von Nußbaum oder Apfelbaum von einem Quadratcentimeter Querschnitt; sie werden ganz in Centimeter getheilt. An der Stelle, wo die Schneiden hinkommen, werden von beiden Seiten Messingplatten *a a*, *b b*, Fig. 137 und 138, eingelassen, welche vorher mit genau zur Schneide passenden Oeffnungen

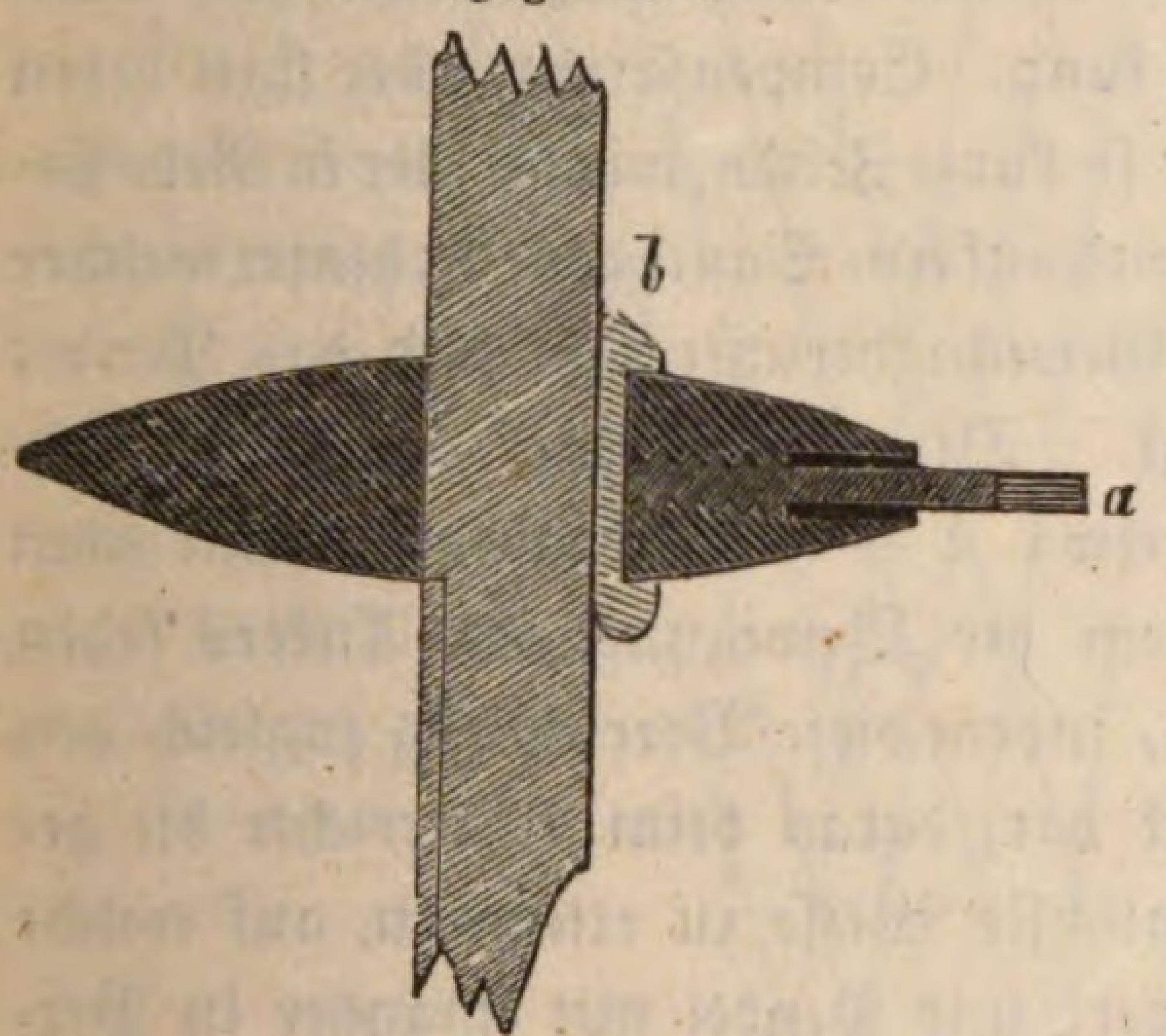
versehen sind; sie werden mit ein paar durchgehenden Messingstiften vernietet; das Holz wird erst nachher für die Schneide durchgearbeitet, und die Schneide durch einige leichte Schläge mit einem hölzernen Hammer eingetrieben. Eine Pendelstange erhält zwei solche Schneiden in der Entfernung des einfachen Secundenpendels, eine andere erhält nur eine in der Mitte für die Versuche über das Trägheitsmoment.

Fig. 139.



Die Linsen gießt man aus Blei in hölzernen Formen, die man mit Graphit ausgestrichen hat. Durch die Formen steckt man ein eben gefeiltes, nach einer Seite hin schwach verjüngtes Eisen von einem Querschnitte wie Fig. 139, so aber, daß der schon vorher bezeichnete Punkt *a* der Mitte der Linse entspricht.

Fig. 140.

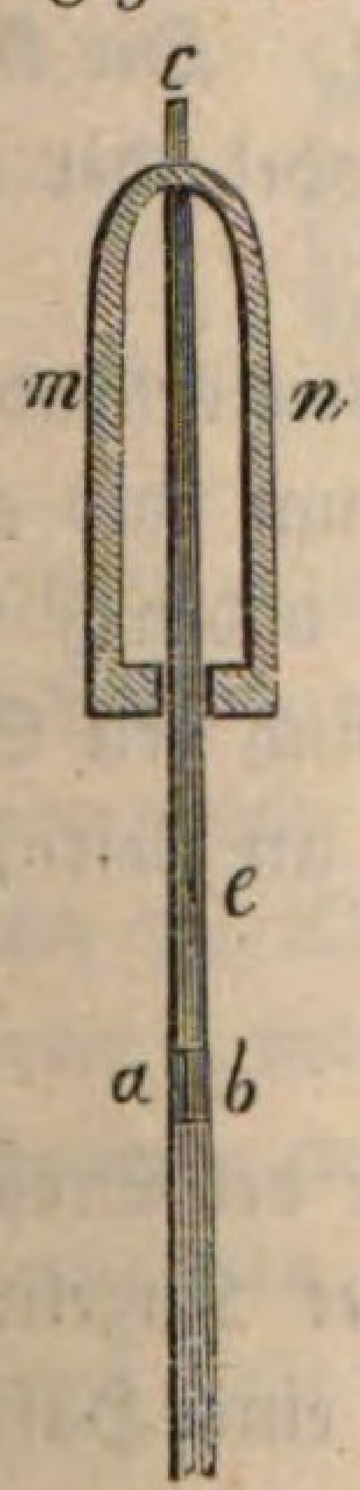


An diesem Eisen werden sie nachher abgedreht, bis sie das erforderliche Gewicht haben, wobei man natürlich das Eisen tarirt, sowie das Messingstück *b*, Fig. 140. Dieses wird beim Anstecken an die Stange zuerst eingelegt und füllt den von der Stange übrig gelassenen Raum der Oeffnung aus; es wird durch eine Schraube *a* gegen die Stange gedrückt und befestigt die Linse an diese. Sein scharfes Ende *b* muß so lang sein, daß es bis zur Mitte der Linse eine ganze Anzahl Centimeter mißt. Die Linsen können mit Schelllack und Kienruß schwarz gefirnißt werden. Einfacher, wenn gleich weniger sauber, können die Linsen durch von beiden Seiten gegen dieselben geschobene Hülsen mit Stellschrauben an die Stange befestigt werden, sie erhalten dann nur eine quadratische Oeffnung, Fig. 141. Hat man die Punkte für den Reversionspendel berechnet, an welchem die Linsen befestigt werden sollen, so bezeichnet man dieselben. Das Gewicht der Linsen stempelt man auf sie selbst.

Fig. 141.



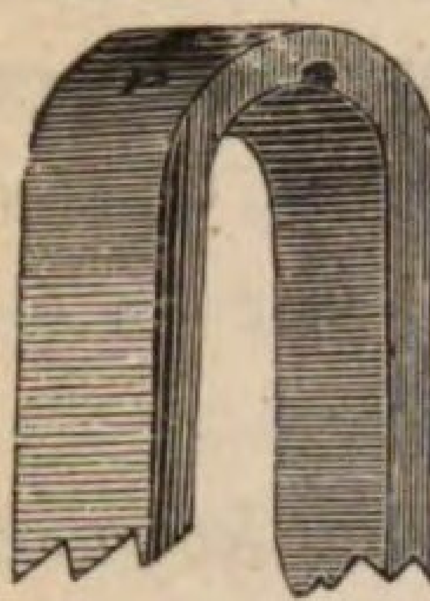
Fig. 142



Ein auf diese Art gefertigtes Secundenpendel geht eine Stunde und länger; allein es giebt die Schläge nicht hörbar an, und ist daher für viele Zwecke unbequem. Will man ein Pendel haben, welches die Secunden hörbar angiebt, so befestigt man an die Stange desselben auf der obern Seite eine eiserne Zwinge *a*, Fig. 142, in welche die eiserne Zunge *b c* gelöthet ist. Durch diese Zunge geht bei *e* die Axe

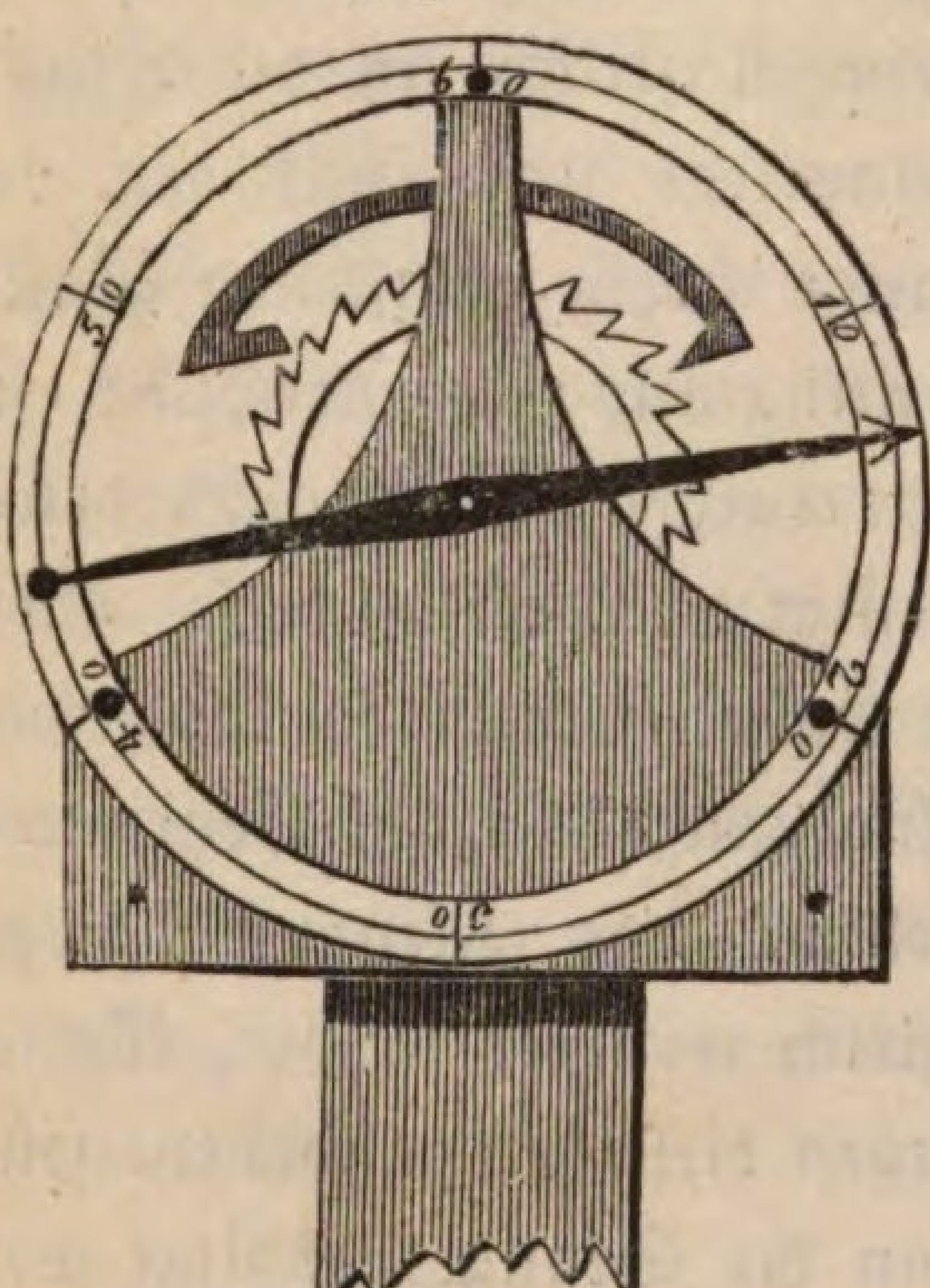
und nahe beim obern Ende *c* ein runder Stift, auf welchen der umgebogene Doppelhammer durch einen Schlitz *r*, Fig. 143, gehängt wird. Dieser giebt nun die einzelnen Schläge des Pendels hörbar an. Zählen muß man sie freilich selbst.

Fig. 143.



Bequemer aber ist es und zweckmäßiger, von einem Uhrenmacher, einem bloßen Holzuhrenmacher, in ein Gestell, wie Fig. 144, ein Steigrad von 30 Zähnen, das zugleich Schnurrad ist, machen zu lassen, welches durch einen großen Anker die Bewegung des Pendels auf gewöhnliche Weise unterhält, und wobei der auf die Axe des Rades befestigte Zeiger auf dem durchbrochenen Zifferblatte unmittelbar die Secunden zeigt. Die Pendelstange wird hier von Eisen gemacht, so daß man die der Quere oder der Länge nach durchbohrte Bleilinse mittelst einer Schraube reguliren kann. Compensation, oder statt deren wenigstens eine hölzerne Stange ist für so kurze Zeiten, wie die hier in Rede stehenden, ganz unnöthig Das Uhrwerk wird auf eine Säule gestellt, hinter welcher das Gewicht heruntergeht und das Pendel hängt. Die Säule darf nur die Höhe von etwa 4 — 5 Fuß haben, damit man bequem die Bewegung des Ankers sehen kann, indem diese Vorrichtung zugleich den Zweck hat, daran beim Unterrichte die gewöhnlichste Weise zu erläutern, auf welche Uhrwerk und Pendel mit einander in Verbindung gesetzt werden. Um dennoch einen längeren Gang zu erzielen, macht man das auf der Axe des Steigrades befestigte Schnurrad etwas klein und hängt das ohnehin nur unbedeutende Gewicht an einer beweglichen Rolle auf. Die Regulirung dieses Pendels wird nach einem einfachen Secundenpendel oder nach einer gut gehenden Taschenuhr gemacht.

Fig. 144.

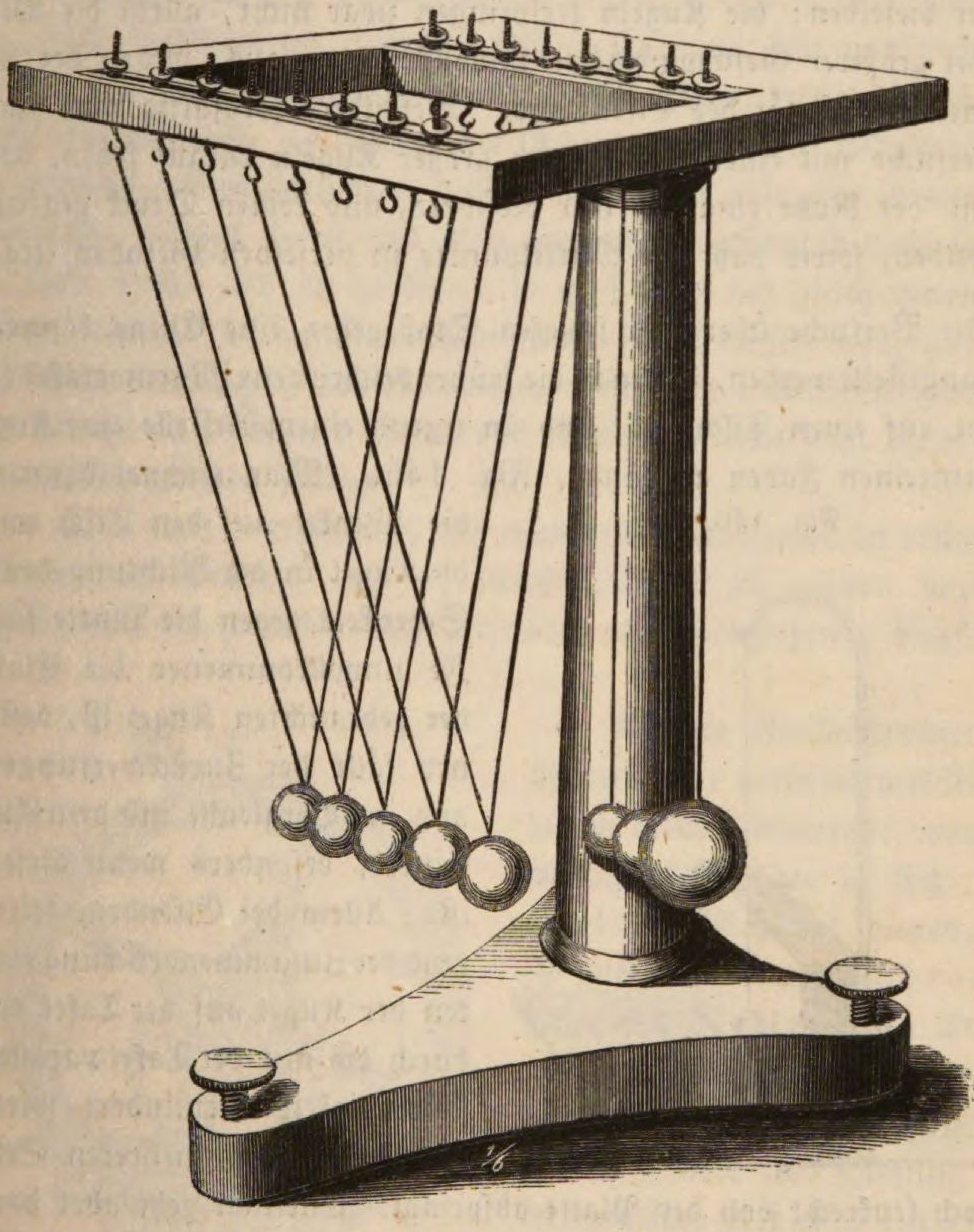


Man könnte diese Vorrichtung noch durch ein zweites Rad erweitern und beide Räder mit gleichen Schnurrädern versehen, um bald an dem einen, bald an dem andern Gewicht wirken zu lassen; dadurch wäre man im Stande, in Bezug auf Räderwerke recht anschaulich den Satz zu erläutern, »was man an Kraft gewinnt, verliert man an Zeit«, und umgekehrt.

91 **Vom Stoße.** Für die Versuche über die Gesetze des Stoßes bedient man sich als nicht elastischer Körper verschieden großer Kugeln von ungebranntem Thone, die man im weichen Zustande mit einer Hafte versieht,

und nach dem Trocknen durch Abschaben oder mit der Holzfeile theils gleich schwer macht, theils auf einfache Gewichtsverhältnisse bringt. Diese Kugeln sind aber immer noch elastisch, und der Erfolg darum keineswegs den Gesetzen entsprechend, weshalb dieser Versuch wohl unterbleiben dürfte. Man hängt dieselben an einem Gestelle, wie Fig. 145 (in 1/6 der wirklichen

Fig. 145.



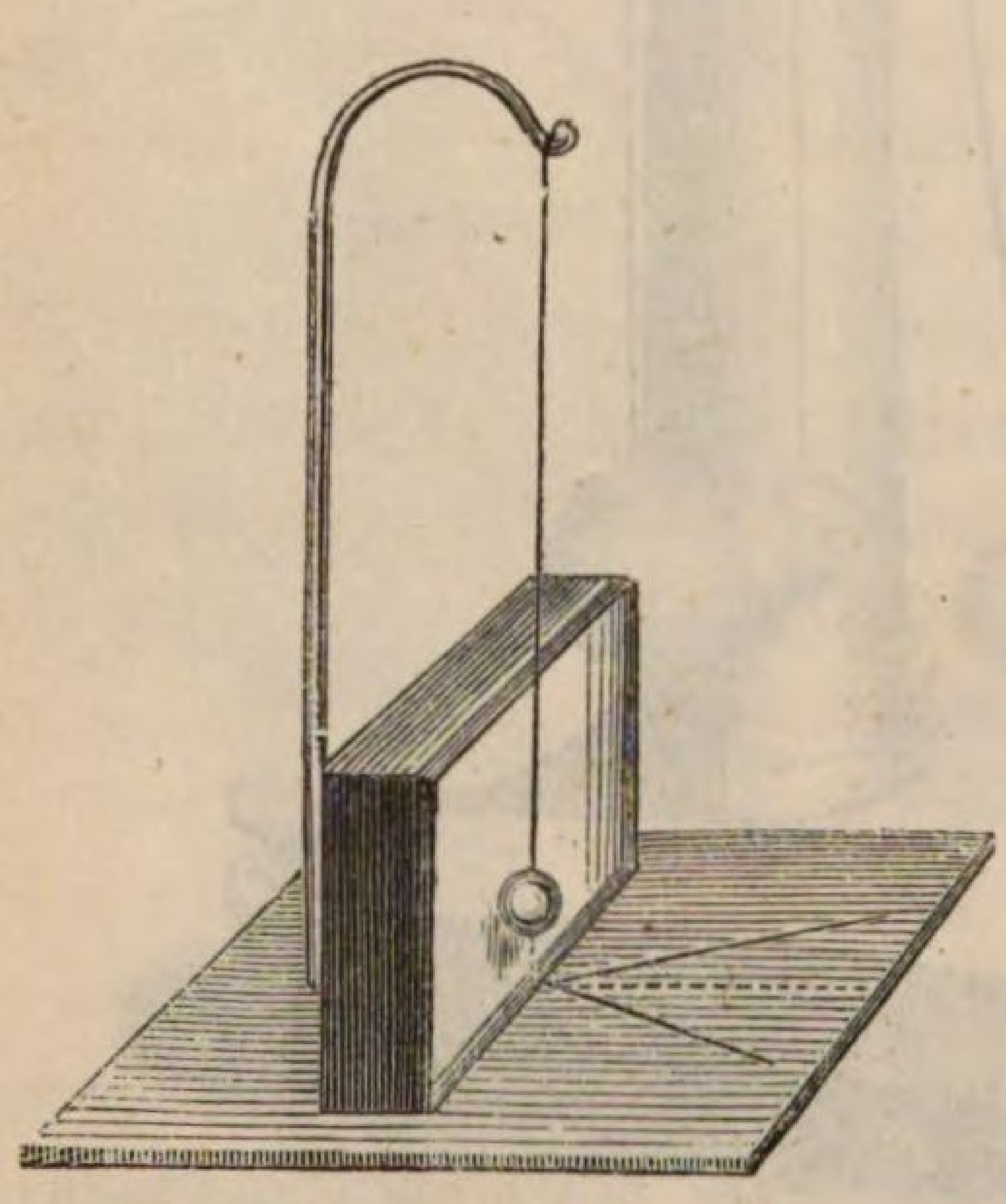
Größe) mittelst seidener Schnüre auf. Die Haken des Gestells gehen durch zwei Schlitze desselben, haben auf ihrer ganzen Länge Schraubengänge und können durch zwei Muttern beliebig festgestellt werden, so daß die Mittelpunkte der Kugeln in derselben Horizontalen liegen und die Kugeln selbst einander gerade berühren. Die zur Erläuterung der Gesetze erforderlichen Versuche wären an sich leicht anzustellen; man hätte nur die Vorsicht zu beobachten, daß die Kugeln unter gleichförmiger Spannung beider Schnüren und nicht zu weit aufgehoben werden, weil sie leicht zer-

springen, wenn der Stoß stark wird; allein der Erfolg ist, wie gesagt, nicht der erwünschte.

Besser ist man mit den elastischen Körpern daran; für diese wählt man Kugeln aus einem sehr gleichförmigen Holze, wie Guajackholz, oder besser aus Elfenbein, von welchen man etwa 5 — 6 gleich große hat, und dann eine vom doppelten und eine vom halben Gewichte. Die Vorsichten sind hier dieselben; die Kugeln zerspringen zwar nicht, allein die Versuche fallen bei größerer Geschwindigkeit unvollkommen aus, wegen der unvollkommenen Elasticität des Elfenbeins. Besonders sorgfältig muß man bei dem Versuche mit einer Reihe gleich großer Kugeln darauf sehen, daß dieselben in der Ruhe einander nur berühren, und keinen Druck gegeneinander ausüben, sowie daß ihre Mittelpunkte in derselben Geraden liegen.

Die Versuche über den schiefen Stoß gegen eine Ebene können einfach so angestellt werden, daß man die früher beschriebene Marmortafel (§. 38) senkrecht auf einen Tisch stellt und an irgend einem Gestelle eine Kugel an einem einzelnen Faden aufhängt, Fig. 146. Man zeichnet dann vorher

Fig. 146.

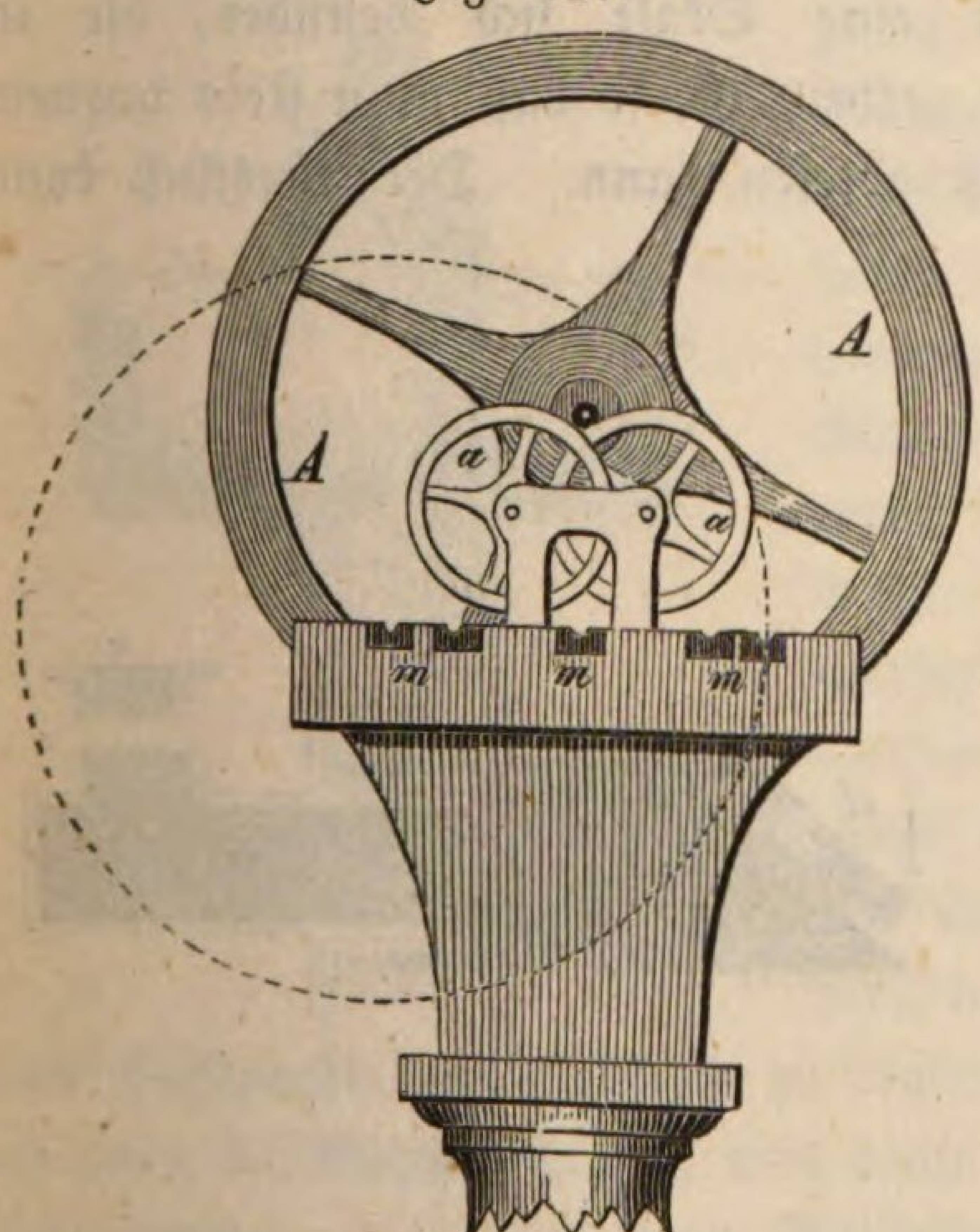


die Winkel auf den Tisch und läßt die Kugel in der Richtung des einen Schenkels gegen die Platte schlagen. Je unvollkommener die Elasticität der gebrauchten Kugel ist, desto kleiner fällt der Zurückwerfungswinkel aus, im Vergleiche mit dem Einfallswinkel, besonders wenn dieser groß ist. Allein bei Elfenbein tritt während der Zusammendrückung ein Gleiten der Kugel auf der Tafel ein, wodurch die mit der Tafel parallele Geschwindigkeit vermindert wird und die Kugel nach mehreren Schlägen nur noch senkrecht von der Platte abspringt. Ein mal geht aber der Versuch recht gut. Auf einem Billard lassen sich die Gesetze des Stoßes weniger gut erklären, wenigstens nicht für den Anfang, da hier die Kugeln außer der gleitenden Bewegung, die bei schwachem Stoße auch ganz fehlt, noch eine rotirende haben, deren Richtung bald mit der gleitenden zusammenfällt, bald ihr entgegenwirkt, ja auch einen Winkel mit ihr macht. Die unvollkommene Elasticität des Elfenbeins zeigt sich besonders auffallend beim schiefen Stoße zweier Kugeln, wo für vollkommene Elasticität die gestoßene und die stoßende Kugel nach dem Stoße unter einem rechten Winkel auseinander laufen sollten.

Von der Reibung. Zu diesen Versuchen nimmt man, wenn es sich nur darum handelt, die Größe der Reibung für Holz auf Holz und die hauptsächlichsten Gesetze zu zeigen, den in Fig. 14 abgebildeten Apparat. Man bedient sich hierzu eines ungleichseitigen senkrechten Holzprismas, das man auf seinen verschiedenen Flächen mittelst Gewichten über die horizontal gestellte Vorrichtung schleift, und zwar theils so, daß die Fasern des Holzes an den beiden sich reibenden Stücken bald unter sich parallel, bald senkrecht zu einander sind. Es muß hier natürlich das Prisma für jede Stellung einen eigenen Haken haben, damit die über die Rolle laufende Schnur, an welcher die Gewichte auf einer Wagschale angebracht werden, stets horizontal bleibt. Da man aber hier immer nur kleine Gewichte zulegen kann und man diese doch gewöhnlich nicht in viel größerer Zahl besitzt als die größern, so muß man sich gleich vornherein entschließen, bis auf welche Genauigkeit man sich einlassen will, und mit diesem Gewichte anfangen; das Quentchen wird beim Unterrichte genügen, und man nimmt dann immer wieder das kleinere Gewicht weg, bevor man sachte das nächst größere auflegt. 92

Man kann auch so verfahren, daß man den Neigungswinkel bestimmt, bei welchem das Prisma auf der schiefen Ebene zu gleiten beginnt, und aus diesem die parallel mit derselben abwärts ziehende Kraft berechnen.

Fig. 147.



Um die Verschiedenheit der Reibung bei verschiedenen Unterlagen beim Unterrichte nachzuweisen, kann der in Fig. 147 abgebildete Apparat dienen; er ist aus dem Muschenbroeck'schen und Nollet'schen Tribometer zusammengesetzt. Ueber das aus mit heißem Oel getränkten Holz oder aus Messing gefertigte Rad *AA* wird ein Band gelegt, welches beiderseits kleine Wagschalen trägt; in diese wird ein beliebiges, die Tragkraft des Apparates nicht übersteigendes Gewicht gelegt und man versucht nun durch einerseits aufgelegtes Uebergewicht Drehung hervorzubringen. Hierbei legt man nach einander die wohlabgedrehte eiserne Axe des Rades auf die Frictionsrollen *aa* und in die Zapfenlager *mm*...

Jedes Paar dieser Lager besteht aus einem andern Material, aus Eisen, Messing, Kanonenmetall, Zink, Holz u. dergl., und alle sind gleich gebohrt und gleich sorgfältig polirt. Der Versuch kann dabei mit und ohne Fett angestellt werden. Das Ganze befindet sich auf einem passenden Gestelle von Holz. Es darf sich hier natürlich nicht darum handeln, Reibungscoefficienten zu bestimmen, sondern nur darum, zu zeigen, daß die Reibung je nach den reibenden Substanzen verschieden ist. Frictionsrollen können hier um so weniger unerwähnt bleiben, als man sich ihrer auch beim Aufhängen jeder größeren Glocke bedient.

B. Versuche über Hydrodynamik.

93 **Ausflußgeschwindigkeit.** Da das Gesetz von Toricelli nur gilt, wenn man die Geschwindigkeit der Flüssigkeit im Gefäße gegen jene in der Oeffnung vernachlässigen kann, so wird hierzu eine ziemliche Weite des Gefäßes erfordert, und sie vermindert die Ausflußgeschwindigkeit noch um 1 Procent, wenn das Gefäß einen hundertmal größeren Durchmesser hat, als die Oeffnung. Man wählt zu den Versuchen ein Blechgefäß, welches in Fig. 148. in ungefähr $1/_{10}$ der natürlichen Größe abgebildet ist, und versieht es mit einer communicirenden Röhre, neben welcher eine Skale sich befindet, die in Zolle und Linien oder in Centimeter getheilt ist, so daß man stets bequem den Stand des Wassers im Gefäß ablesen kann. Der Ausfluß kann

Fig. 148.

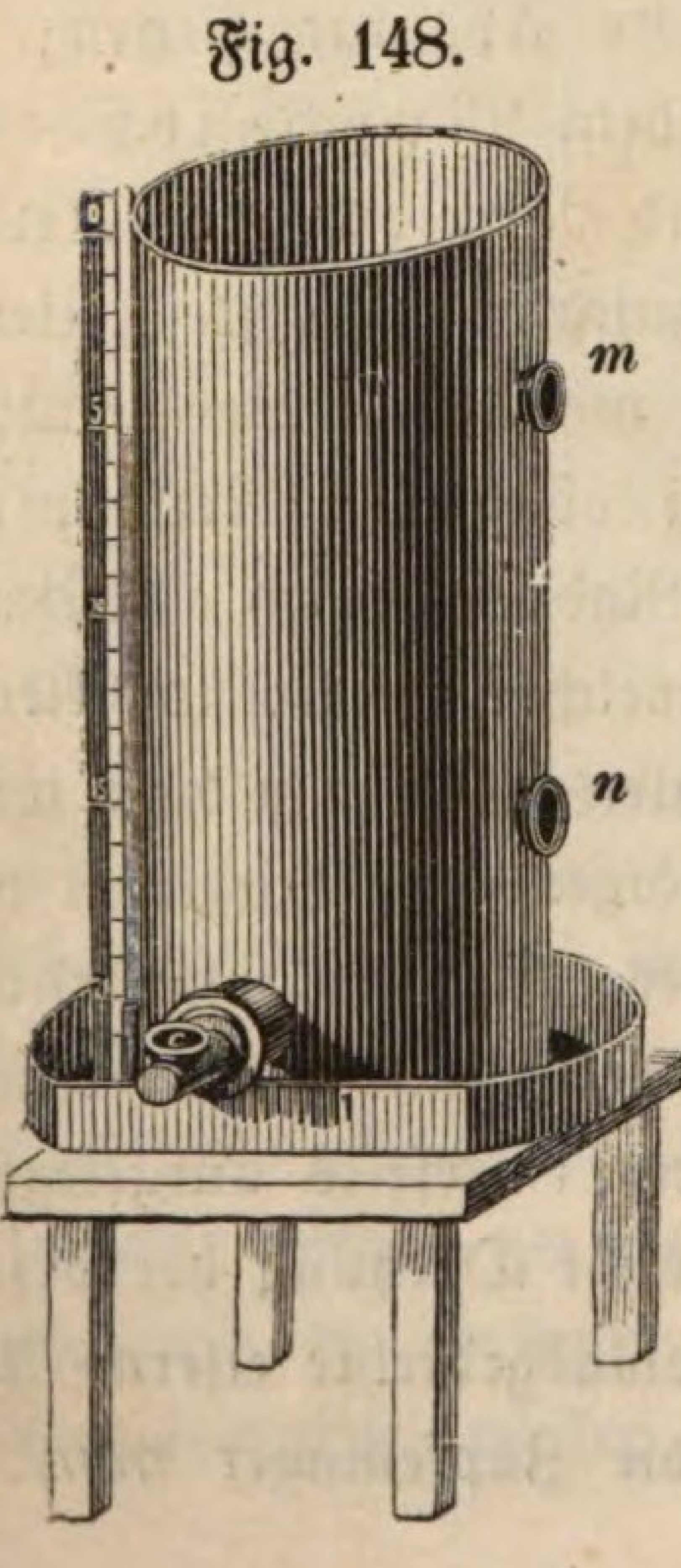
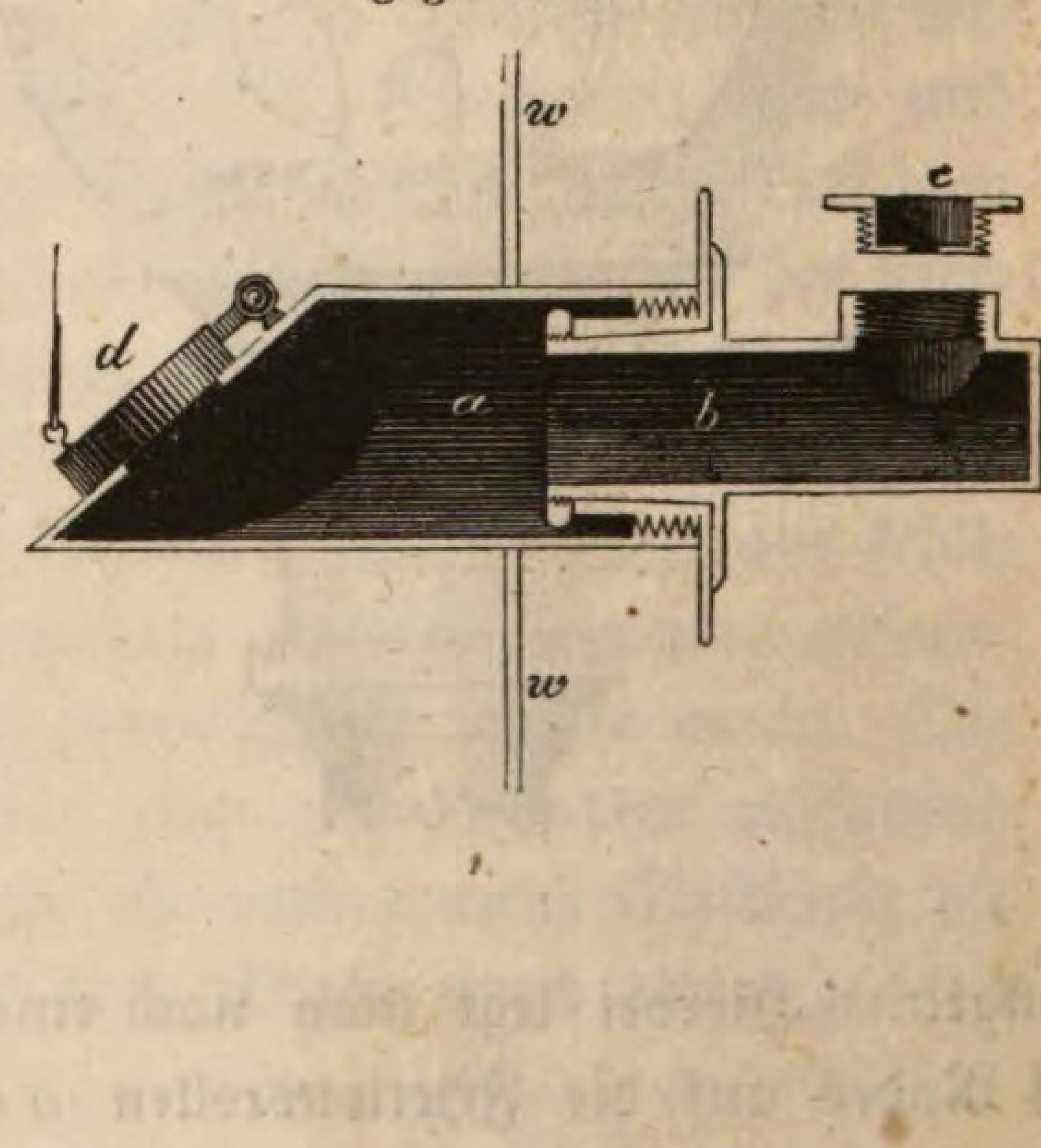
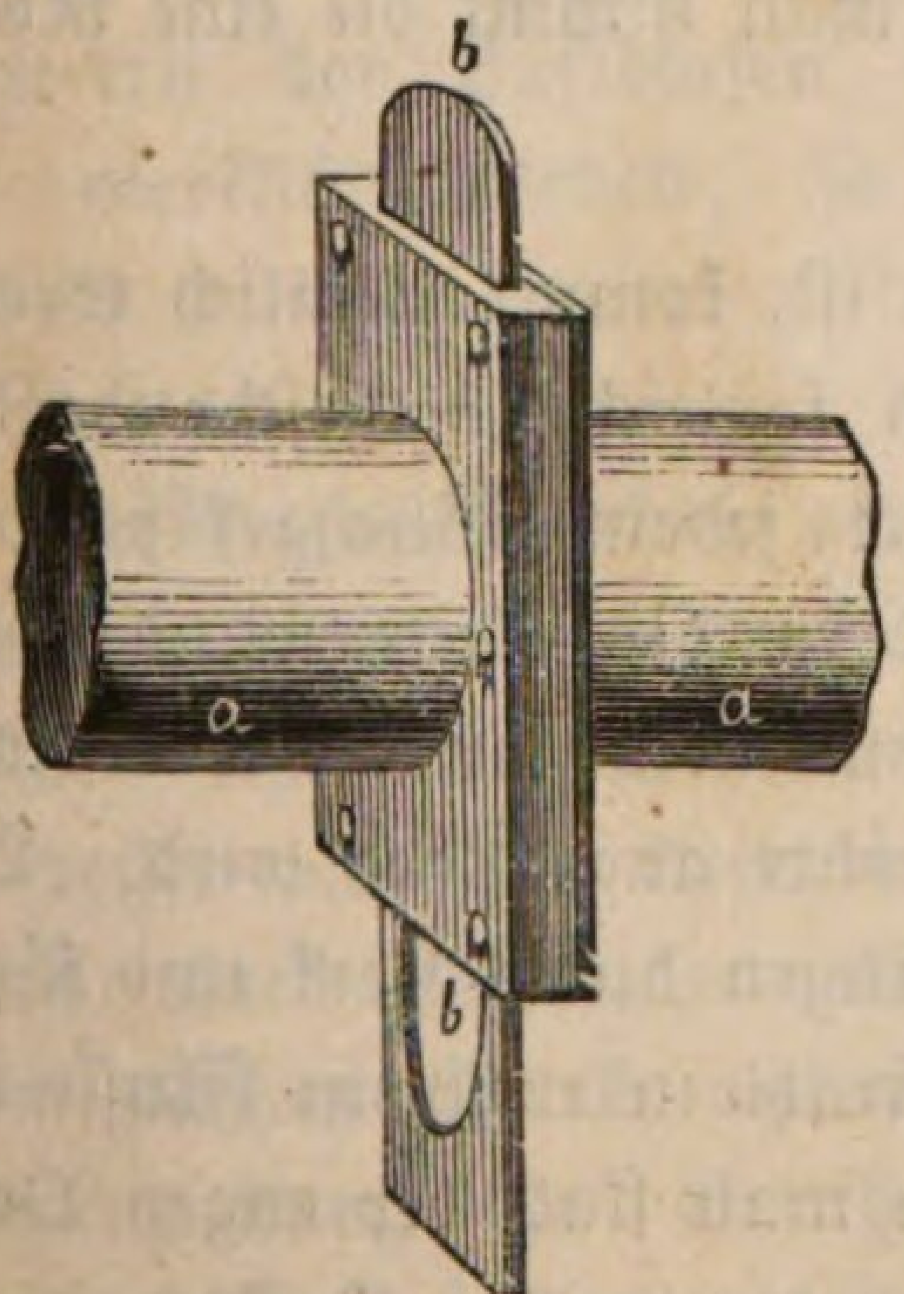


Fig. 149.



durch vier Oeffnungen geschehen, wovon *m* vier und *n* sechzehn Zolle, jedenfalls alle eine ganze Zahl von Zollen oder Centimetern, von derjenigen Höhe abstehen, bis zu welcher das Gefäß gefüllt werden soll, und welche die Skale durch ihr Ende angiebt. Alle diese Oeffnungen sind kurze zwei Zoll weite Röhren, welche wie *a*, Fig. 149 (a. v. S.), in der Seitenwand *w w* stecken, und durch Klappen verschlossen sind, welche durch Drähte oder Schnüre aufgezogen werden können. In diese Röhren werden die eigentlichen Ausflußöffnungen eingeschraubt, welche mit scharfem Rande versehen sind und deren man mehrere von 1 — 3 Linien Durchmesser hat. In die unterste Seitenöffnung ist aber zuerst die Röhre *b* Fig. 149 so eingesetzt, daß sie um ihre Axe gedreht werden kann; seitlich erst in diese Röhre wird die Ausflußöffnung *c* eingeschraubt und man kann auf der am Rande getheilten Scheibe, die auf der Röhre *b* sitzt und sich auf dem Rande der Röhre *a* dreht, die Neigung der Oeffnung *c* ablesen. Aus einem zweiten Gefäße, welches gerade so hoch steht, als der obere Rand des eben beschriebenen, läßt man durch einen Hahn so viel Wasser zufließen, als erforderlich ist, um die Druckhöhe stets gleich zu erhalten; doch kann man letzteres bei den engen Ausflußöffnungen unterlassen, wenn man nur kurze Zeit ausfließen läßt. Anstatt der in Fig. 149 abgebildeten Klappe kann man die Röhre *a* außerhalb des Gefäßes mit einem Schieber, wie Fig. 150 versehen, was den Vortheil hat, daß durch das Oeffnen desselben keine unordentliche Bewegung im Wasser entsteht, wie bei der Klappe. Noch besser wäre es, wenn jede Ausflußöffnung dicht vor der Oeffnung selber für sich mit einem solchen Schieber versehen wäre, und die Röhre mit einer Klappe, welche man nur schließen würde, wenn man die Ausflußöffnungen wechseln wollte. Bei der Einrichtung nämlich, wo der Verschluß der Röhre in einiger Entfernung von der Oeffnung liegt, ist man genöthigt, zuerst die Klappe zu ziehen und erst, wenn das Wasser in ruhigem Flusse sich befindet, in einem bestimmten Momente mit dem Auffangen des Wassers zu beginnen, und ebenso damit aufzuhören, ehe man die Klappe schließt, weil beim Oeffnen erst die weite Röhre *a* gefüllt werden muß und beim Schlusse aus dieser noch Wasser nachfließt, was bewirkt, daß man ganz ungenaue Resultate erhält. Allein dieses Verfahren durchnäßt immer das Arbeitslocal. Die drehbare Oeffnung *c* Fig. 149 dient dazu, um die senkrechte Sprunghöhe mit der Druckhöhe,

Fig. 150.



so wie um die Wurfweite bei verschiedenen Elevationen unter sich und mit der senkrechten Wurfhöhe zu vergleichen und die parabolische Bahn des Wasserstrahles zu zeigen.

Die vierte im Boden des Gefäßes befindliche Oeffnung dient zu denselben Versuchen, wie die Oeffnungen *m* und *n*, das Gestell ist zu dem Ende mit einer Oeffnung versehen. Der untere um das Gefäß hervorstehende Rand des Gefäßes ist dazu bestimmt, das Wasser aufzunehmen, welches etwa durch die Klappen sich durchstehlen sollte.

Um die herausgeflossenen Mengen zu messen, bedient man sich am einfachsten der Wage, und hiefür ist es dann besonders bequem, wenn der Ausflußapparat nach französischem Maaße eingerichtet ist und man sich also des Grammgewichtes bedienen kann, wodurch alle Reductionen abgeschnitten werden. Sind die üblichen Hohlmaaße in einfachem Verhältnisse mit dem Längenmaaße, so kann man sich auch dieser bedienen, um die ausgeflossene Menge im Kubikmaaße zu bestimmen.

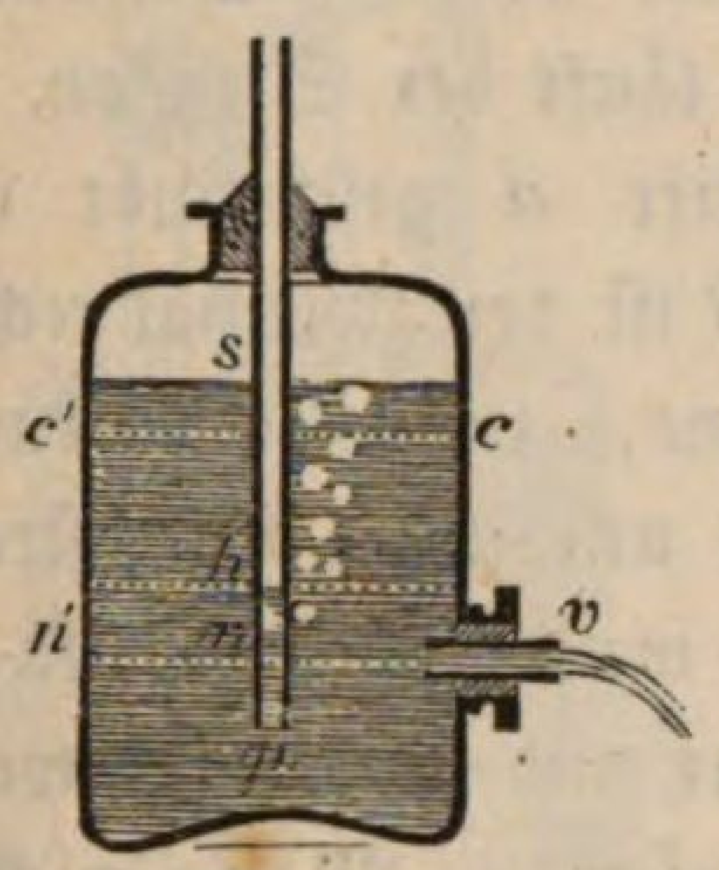
Setzt man in eine der Ausflußröhren statt einer Oeffnung in dünner Wand verschiedene konische Oeffnungen ein, so kann man ihren Einfluß ebenfalls nachweisen; den Einfluß der Längen cylindrischer Röhren auf die Ausflußmenge zeigt man ganz einfach durch zwei von demselben Stücke genommene möglichst gleichweite Glasröhren, die man mittelst Kork successive in eine Oeffnung des Gefäßes steckt; man nimmt die eine Röhre viermal so lange als die andere.

Ein solches Gefäß, wie es hier beschrieben ist, kommt ziemlich theuer, allein man kann die Versuche auch mit dem sogleich zu beschreibenden Mariotte'schen Gefäße anstellen, oder mit jedem Blechgefäße von hinlänglicher Weite und etwa 6 Zoll Höhe. In die Seitenwand bohrt man eine genau 2 Millimeter weite Oeffnung und eine andere etwa einen Centimeter weite, um welche eine kurze Blechröhre angelöthet wird. Bei einem solchen Gefäße verschließt man die Oeffnungen durch Kork und fängt mit dem Auffangen erst an, wenn der Wasserstrahl in ruhigem Flusse ist. Zum Wechseln der Ausflußöffnung, d. h. wenn man statt der engen Oeffnung in der dünnen Wand eine Glasröhre vor die weitere Oeffnung anwenden wollte, müßte das Gefäß freilich immer vorher geleert werden. Bei dem Mariotte'schen Gefäße hat man letzteres nicht nöthig, man braucht nur die Luftröhre zu verstopfen und kann das Gefäß auf die Seite legen, um jede beliebige Oeffnung einsetzen zu können.

94 **Das Mariotte'sche Gefäß.** Ein kleines solches Gefäß ist schon in theoretischer Beziehung ein interessanter Apparat, den man sich übri-

gens leicht verschaffen kann. Man versieht nämlich ein etwas starkes Glasgefäß Fig. 151 mit einem gut schließenden Korkpfropf, der rein ist und mit

Fig. 151.



einer Oeffnung versehen wird, welche etwas kleiner ist als die beiderseits offene Glasröhre *A*, welche hinein kommen soll. Diese wird von einer Barometerröhre genommen, und an der Lampe unterhalb etwas ausgezogen; man dreht sie dann so heiß in die Oeffnung des Korks, daß dieser nur nicht gerade anbrennt, wodurch man einen sehr guten Schluß erhält. Seitwärts bohrt man mit einem kupfernen Ringe auf der Drehbank eine Oeffnung von ungefähr einem halben Zolle Durchmesser und läßt an eine Blechröhre von etwas größerer Weite einen Rand löthen, der gerade auf die Flasche paßt und mit Siegellack aufgekittet wird. In diese Röhre steckt man durch einen zweiten kurzen Kork eine kurze gläserne Ausflußröhre *v*, oder man kann sie zum Aufschrauben verschiedener Ausflußöffnungen einrichten.

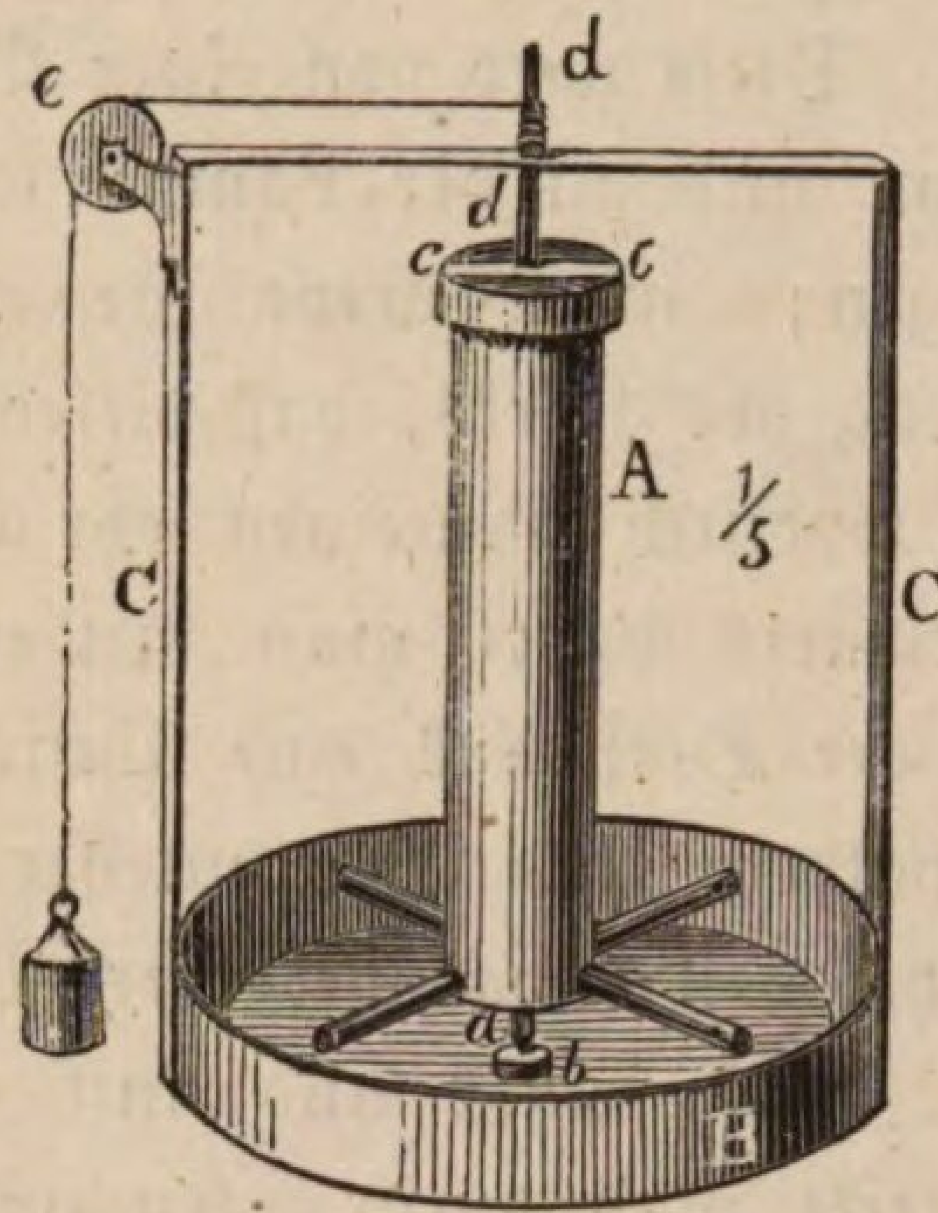
Wo man zu irgend einem Zwecke einen anhaltenden gleichförmigen, wenn auch nur schwachen Wasserstrahl nöthig hat, ist ein solcher Apparat sehr bequem; zu eigentlichen Ausflußversuchen müßte er einen Inhalt von 3—4 Litres haben, und noch eine Druckhöhe von etwa 12 Centimetern gestatten. Obwohl bei anderen Druckhöhen die durch das Eintreten der Luftblasen im Wasserstrahle entstehenden Pulsationen sehr merklich werden, so erhält man doch ziemlich genaue Resultate.

Die Beschaffenheit eines senkrecht abwärts fließenden Wasserstrahles kann durch den Apparat Fig. 148 nicht gezeigt werden, wenn er schon mit einer Oeffnung im Boden versehen ist. Man kann diese viel besser an einer kleinern Oeffnung zeigen, die man in dem Boden irgend eines blechernen Gefäßes anbringt, da es hier nicht auf einen gleichen Druck ankommt. Will man dabei nicht auch die Zusammenziehung des Strahles berücksichtigen, so zeigt das aus einem etwas feinen Heber ausfließende Wasser oder Quecksilber dieselbe sehr schön. 95

Das Segner'sche Wasserrad. Da es sich für den Unterricht mehr darum handelt, die Wirkung des Rückstoßes überhaupt zu zeigen, als das Maximum der Wirkung zu erlangen, so ist es nicht nöthig, daß die Arme der Maschine die sonst erforderliche Krümmung haben, und man kann dieselbe einfach aus Blech machen lassen, wie Fig. 152 (a. f. S.), zeigt. Es läuft 96

dabei der in den Boden des Cylinders *A* eingelöthete eiserne Stift *a* auf einem mit einer eingebohrten Vertiefung versehene und auf den Boden des Gefäßes *B* angelötheten Stückchen Eisen oder Messing *b*. Quer über die Oeffnung des Cylinders *A* läuft der Steg *cc*, in welchen der Stift *d* geschraubt ist. Auf das Gefäß *B* ist der zweimal rechtwinklicht gebogene, zur Verstärkung an den Rändern umgelegte Blechstreifen *CC* gelöthet, welcher dem Stift *d* als Führung dient und die leichtbewegliche Rolle *e* trägt. Man wickelt um den Stift *d* einen Faden, der über die Rolle geführt wird und eine Wagschale trägt, in der die Maschine ein gewisses Gewicht heben muß.

Fig. 152.

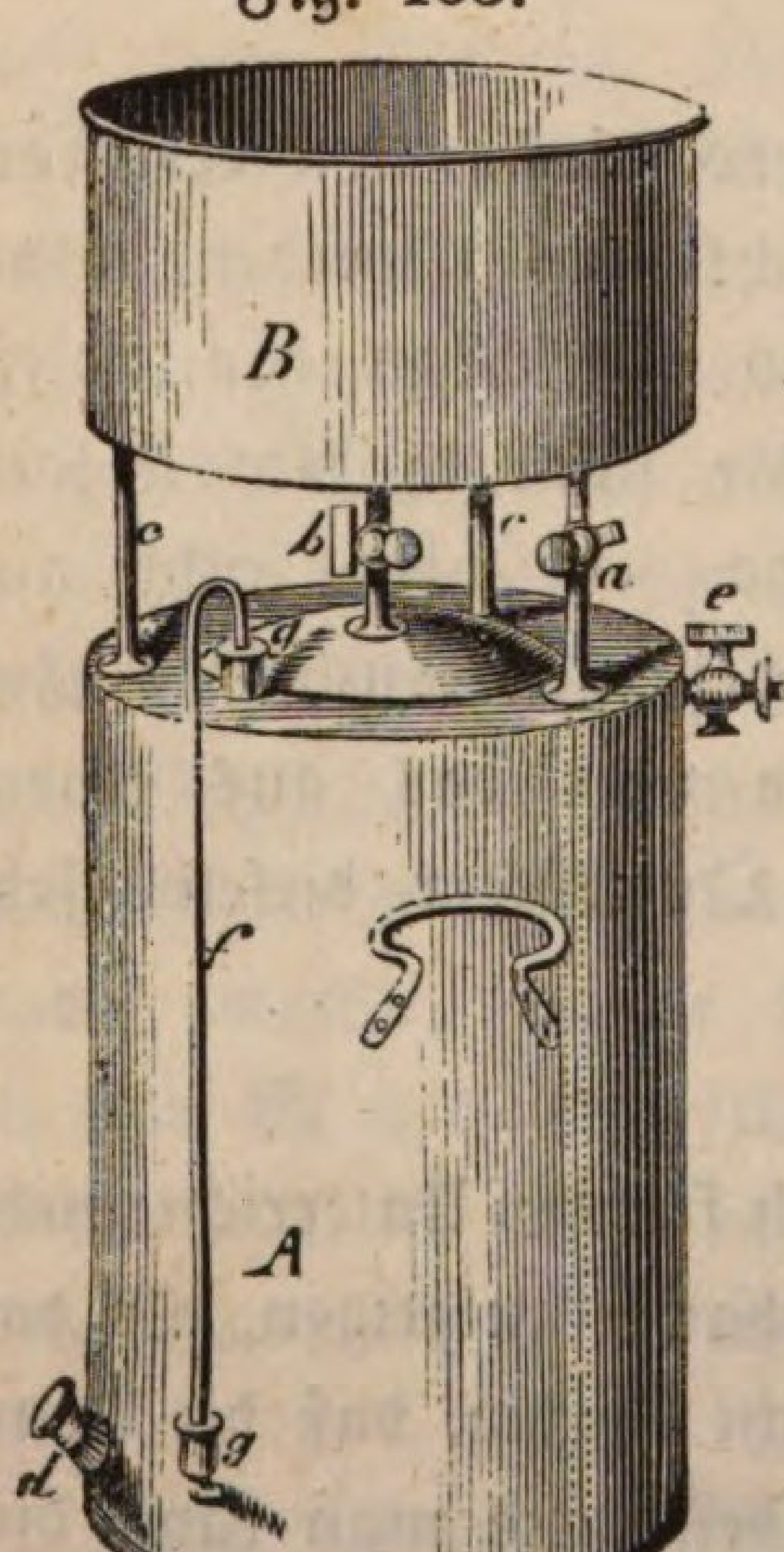


Soll der Versuch länger fortgesetzt werden, so muß auch das Gefäß *B* eine Abzugsröhre haben; *A* kann man leicht stets voll erhalten.

C. Versuche über die Bewegung der Gase.

97 **Der Gasometer.** Für den gewöhnlichen Gasometer, Fig. 153, wie man denselben meistens in Laboratorien braucht, ist hier nur zu bemerken, daß man einen solchen um billiges Geld aus Zinkblech verfertigen lassen kann, wenn man die erforderlichen Hahnen im Eisenladen kauft. Man findet nämlich unter den daselbst vorräthigen kleinen Hahnen im Preise von 20—40 Kr. fast immer solche, welche für den gegenwärtigen Zweck gut genug schließen; da sie aber meistens einerseits gekrümmt enden, so muß man dieses Stück wegfeilen, um ein gerades Rohr daran zu löthen. Der Hahn *e* braucht nicht gerade in einer Schraubenmutter zu endigen, man kann auch die Fortleitungsröhren durch Kautschuckstreifen mit demselben verbinden, was um so leichter geht, wenn das hervorragende Rohrstück noch etwas lang ist, wie es bei den käuflichen Hahnen stets eintrifft.

Fig. 153.



Noch wohlfeiler kann man zu einem kleinen Gasometer der Art kommen, wie die Gasometer in den Gasbeleuchtungsanstalten sind.

Fig. 154.

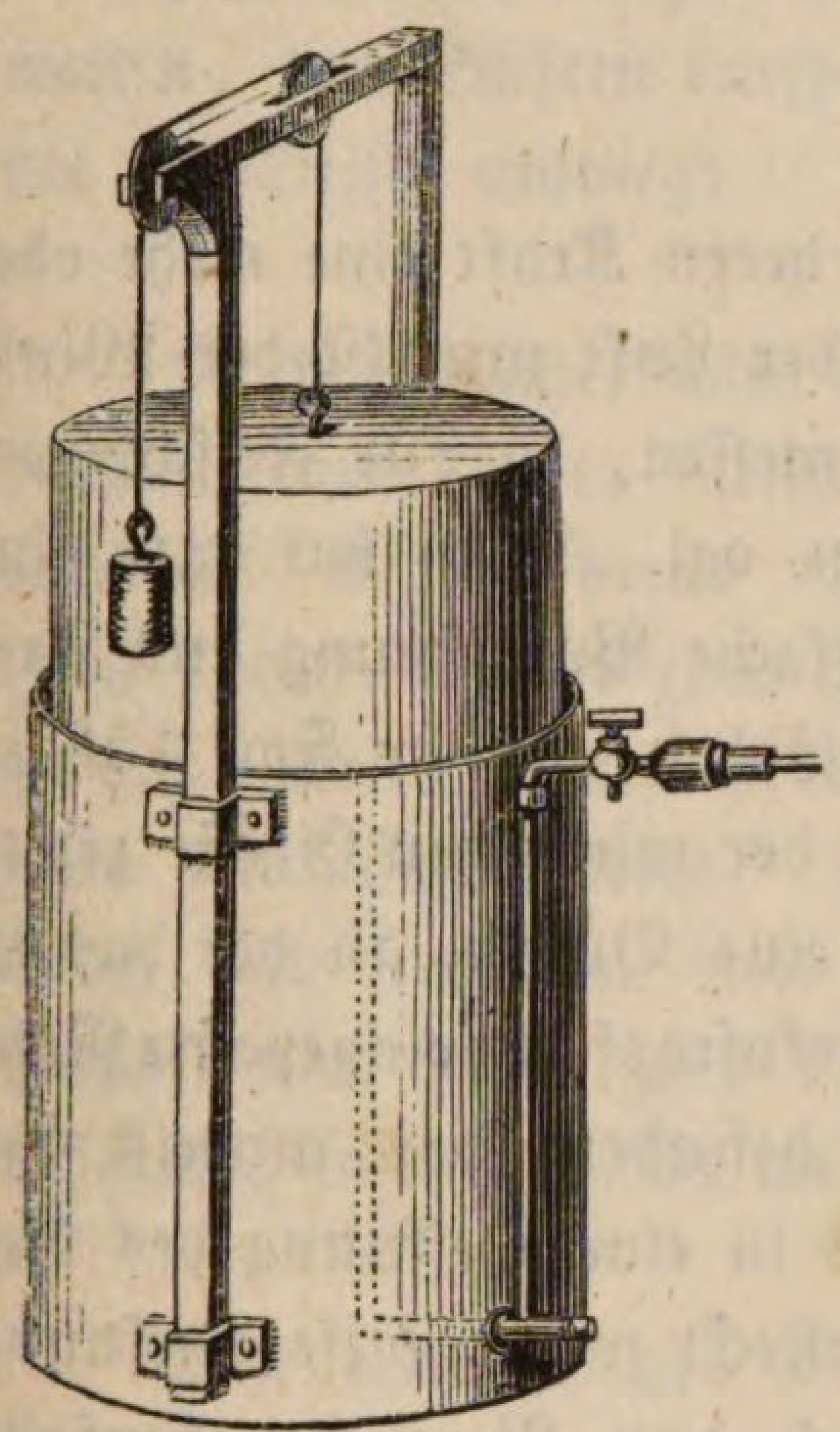
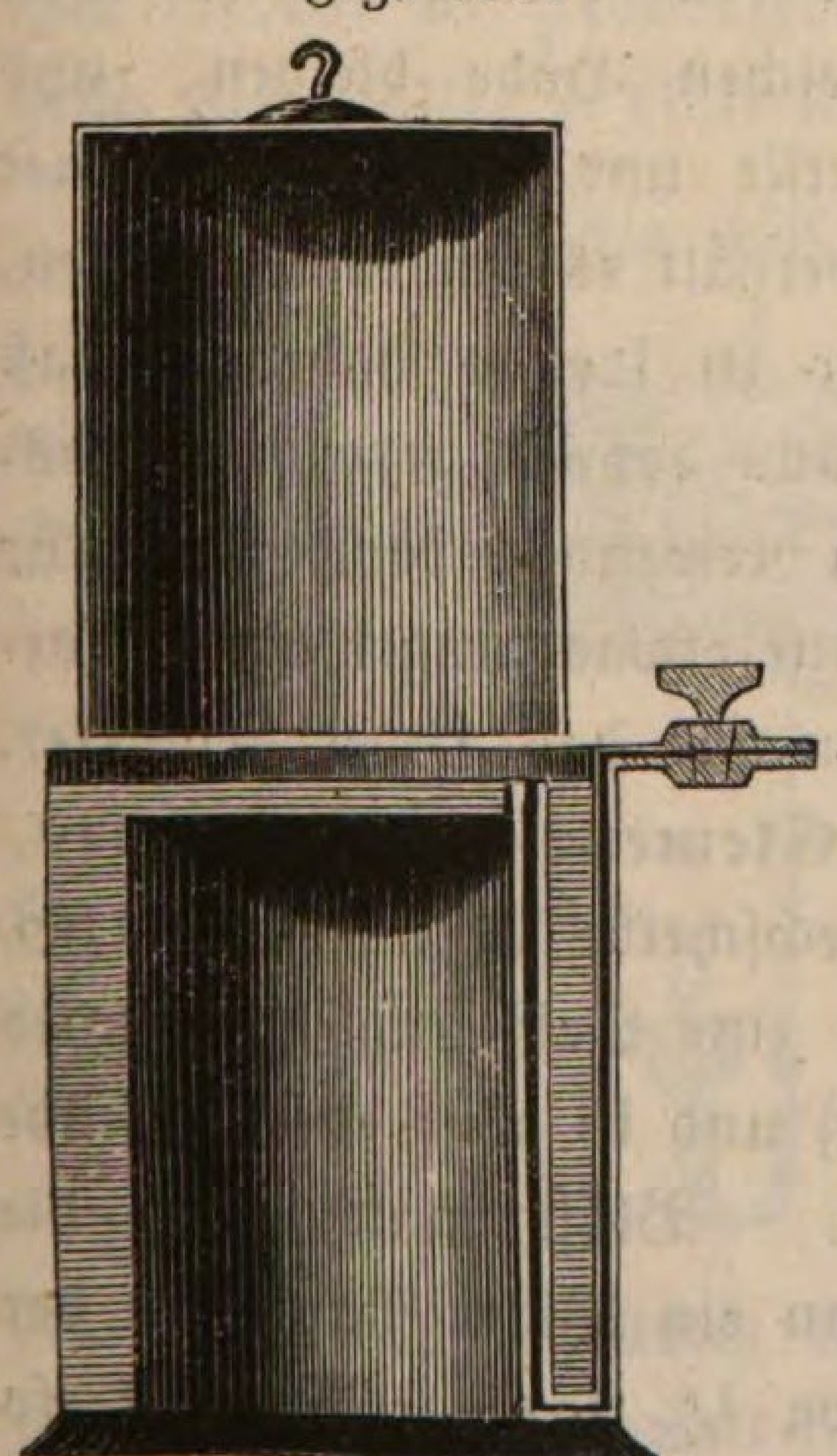


Fig. 154 zeigt einen solchen aus Zinkblech mit einer Zuleitungsröhre, welche zugleich zum Abführen der Gase dient. Letztere besteht aus Blei und man bekommt solche Bleiröhren von einem Durchmesser von 2—3 Linien im Handel sehr billig (15—16 Kr. pr. Pfund). Wollte man dem Apparate größere Dimensionen geben, und das innere Gefäß mehr als 5—6 Zoll weit machen, so würde er im gefüllten Zustande schon schwer zu transpotiren sein. Für diesen Fall müßte auf den Boden des äußern Cylinders ein hohler cylindrischer Körper aufgelöthet werden, so daß für das Wasser nur der Zwischenraum zwischen diesen beiden Gefäßen übrig bliebe, und in diesen Zwischenraum würde das bewegliche Gefäß tauchen. Fig. 155 zeigt einen solchen Apparat mit dem beweglichen Gefäße im Durchschnitte.

Will man den Gasometer nur an einer bestimmten Stelle gebrauchen, so kann man auch die Rollen an der Decke des Zimmers befestigen.

Will man überhaupt nur, ohne gerade auf den Gebrauch im Kleinen zu sehen, eine Vorrichtung, um die Einrichtung eines solchen Gasometers zu zeigen, so braucht man nur die Bleiröhren mit den Hahnen in ein Zuckerglas zu biegen und eine passende Luftpumpenglocke darüber zu hängen, wo dann die Rollen an Haken in der Decke angehängt werden können, die man jedoch zu mancherlei andern Versuchen daselbst hat.

Fig. 155.



Soll ein solches Gasometer gefüllt werden, so öffnet man die Hahnen, nimmt Gewichte ab und läßt die Glocke einsinken; sodann verbindet man den einen Hahn mit dem Gasentwicklungsapparat, indem man eine etwas weitere Röhre einerseits an den Hahn, andererseits an die Entwicklungsröhre steckt und mit einem Streifen Kautschuck, oder auch nur mit nasser Schweinsblase verbindet. Beim Füllen

giebt man der Wagschale so viel Uebergewicht, daß sie gerade noch die Reibung zu überwinden vermag. Zum Füllen eines etwas größeren Luftballons ist ein solcher Apparat sehr bequem, weil das Gefäß, Fig. 112, leicht zu klein sein dürfte.

98 **Die Windwage.** Bei allen Gebläsen, deren Kraft eine mehr oder weniger bestimmte sein muß, wird der Druck der Luft mittelst der Windwage gemessen, so für Frischfeuer, Orgeln u. dgl. Man hat dazu eine ganz einfache Vorrichtung aus starkem Weißblech, welche Fig. 156 in etwa $1/_5$ der wirklichen Größe zeigt; *MN* ist eine Büchse, an der das in einen Korkpfropf gut eingepaßte Rohr *aa* sich befindet, das mittelst des Pfropfes in eine Oeffnung des Gebläses gesteckt wird; diese Oeffnung wird nach dem Versuche ebenfalls wieder durch einen Pfropf geschlossen. In die kurze Röhre *b* ist mittelst Siegellack ein starkes 4 — 5 Zoll langes Glasrohr *c* eingekittet, das in Viertelszolle getheilt ist. Vor dem Versuche füllt man durch *d* soviel Wasser ein, daß es an den Nullpunkt der Theilung auf *c* reicht. Bei Orgeln pflegt der Druck des Windes nicht über 4 Zoll zu betragen, er muß aber auf seiner gleichen Höhe bleiben, und wenn auch alle Ventile und Register geöffnet werden. Aehnlich verhält es sich bei Gebläsen, die verschiedene Feuer zu speisen haben. Daß man auch eine einfache doppelt gebogene Glasröhre wie Fig. 157 verwenden könne, ist für sich klar, sie wird nur etwas länger und erfordert doppeltes Ablesen wie das Heberbarometer.

Fig. 156.

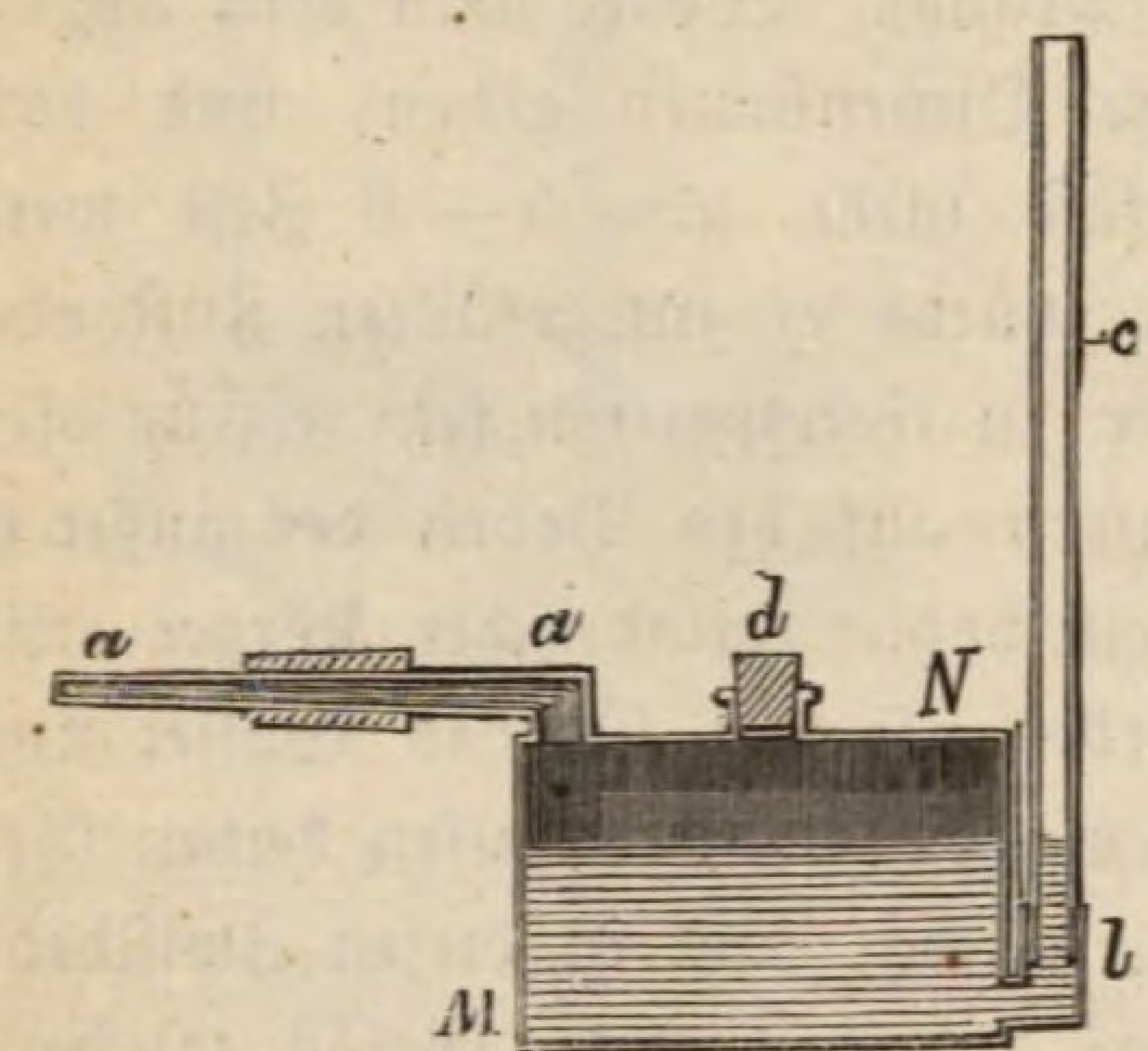
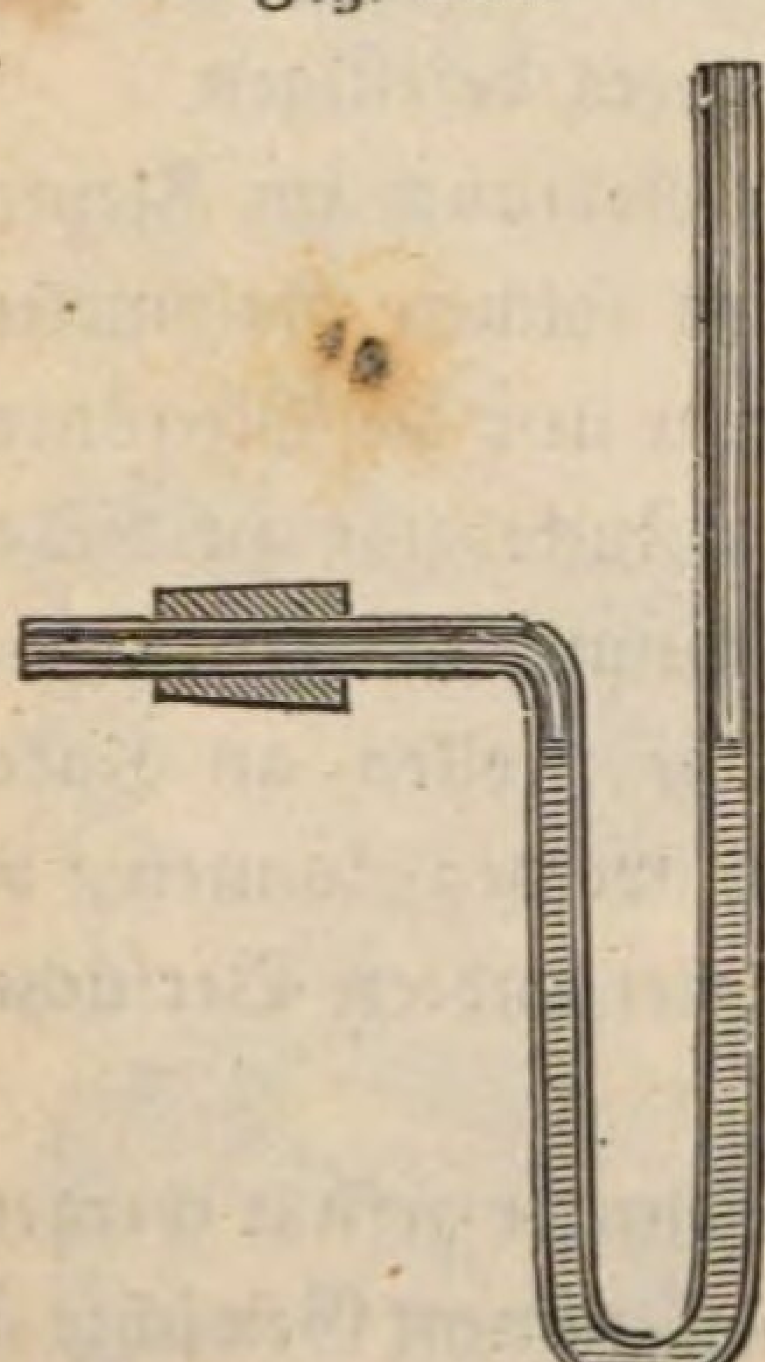
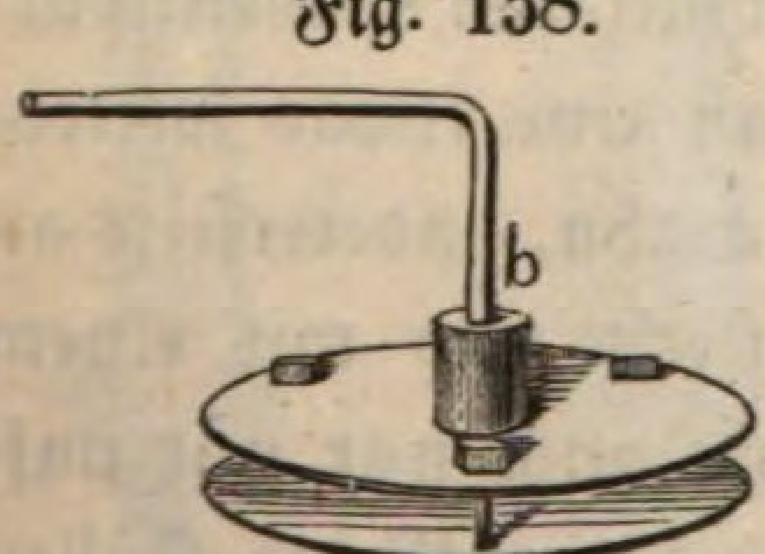


Fig. 157.



99 **Der Versuch von Clement und Desormes.** Auf eine ebene Blechscheibe *MM*, Fig. 158, welche in der Mitte eine Oeffnung hat, wird eine Hülse *b* gelöthet, und in diese eine passende Glasröhre *a* gekittet. Bläst man durch die Röhre, während man ein Blatt Papier in der Entfernung von etwa $1/_2$ Zoll vertikal hält, so

Fig. 158.

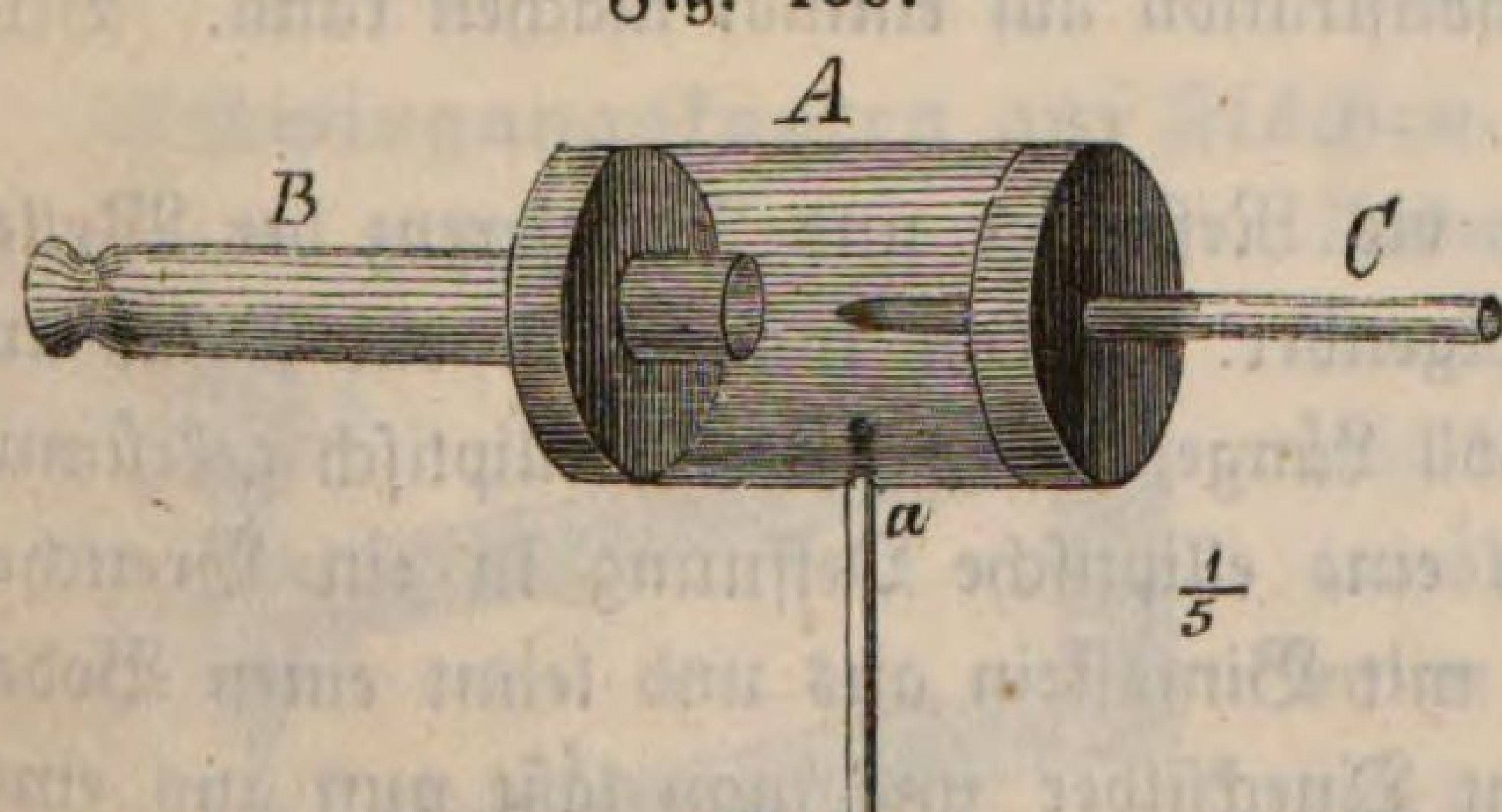


klappt dieses rasch gegen die Oeffnung und oscillirt vor derselben. Man kann den Versuch auch so abändern, daß man an die Scheibe *M M* drei dünne Stifte anbringt, ein ebenfalls rundes Blatt Kartenpapier mit etwas weiten, den Stiften entsprechenden Oeffnungen an diese steckt und nachher die Stifte umbiegt.

Noch einfacher wird der Apparat, wenn man das Glasrohr in einen kurzen Kork kittet, diesen mit dem Rohre eben schneidet und dann eine etwa 2 — 3 Zoll breite runde Scheibe von dünnem glatten Pappendeckel (jene Sorte, wie sie zum Pressen der wollenen Tücher verwendet wird, ist zu gar vielen Zwecken brauchbar) an den Kork leimt, welche Scheibe ebenfalls durchlöchert wird. Nahe am Rande steckt man drei glatte Drähte durch und steckt an diese eine Scheibe aus starkem Papier, die mit der Pappscheibe gleich groß ist. Die Löcher für die Drähte werden verhältnißmäßig weit gemacht und die Drähte an beiden Enden umgebogen.

Auf dem gleichen Gesetze beruht auch die Wirkung des Blasrohres 100
der Locomotiven, wie man durch den Apparat Fig. 159 zeigen kann. *A* ist eine kurze weite Glasröhre, wie man sie von einem weiten Lampenkamine absprengen kann. Beiderseits paßt man Korkscheiben in diese, und in die Scheiben einerseits eine weite *B*, andererseits eine enge und noch etwas spitz ausgezogene Glasröhre *C*. Mitten in die Röhre bei *a* bohrt man ein $1\frac{1}{2}$ — 2 Linien weites Loch mit einem kupfernen Stifte und Smirgel an der Drehbank (schnelles Umlaufen, sehr mäßiger Druck und immerwährendes Auftragen von frischem mit Oel angemachtem dünnen Smirgelbrei fördern die Arbeit sehr rasch), in welches man eine heberförmig gebogene, nicht unter 1 Linie weite Glasröhre *a b c* kittet; auch die Korkscheiben werden nun in die Röhre *A* eingekittet (mit Siegellack), nicht aber die beiden Röhren *B* und *C* in die Korkscheiben. Die Kugel bei *c* ist bequem, aber keineswegs nöthig. Bringt man nun Wasser in die Röhre *a b c*, so wird es in *a b* steigen, wenn man durch die enge Röhre *C* gegen die weite *B* bläst, und umgekehrt fallen; man sucht durch Verschieben der Röhren die wirksamste Stellung derselben, deswegen müssen sie in die Korkscheiben gut eingepaßt sein, damit sie ohne Kitt schließen.

Fig. 159.



Man kann den Versuch auch so anstellen, daß man in einer Erweiterung der Röhre *abc* ein paar kleine glühende Kohlen anbringt und dann durch die enge Röhre bläst; die Kohlen werden gut angefacht.

Vierter Abschnitt.

Versuche über Akustik.

101 **Wasserwellen.** Es wird hier nur nöthig, die Erfahrungen, die man freilich oft machen könnte, in Bezug auf die einfachsten Erscheinungen noch einmal vorzuführen. Zu diesem Zwecke verwendet man ein etwas großes Gefäß voll Wasser, in das man aus einer Pipette einzelne Wassertropfen fallen läßt, um dabei den Erfolg eines einzigen Tropfens, dann mehrerer in abgemessenen Zwischenräumen an dieselbe Stelle fallender Tropfen zu zeigen, so daß die aufeinander folgenden Wellen ein System bilden. Ebenso erregt man zwei Wellensysteme, deren Mittelpunkte mehr oder weniger von einander entfernt sind, um auf die Interferenzen aufmerksam zu machen. Zuletzt würde dann die Zurückwerfung der Wellen von der Wand des Gefäßes oder von einem hineingestellten Brette gezeigt. Stellt man eine mit einem zollweiten Schlitze versehene Wand hinein, so kann man auch die Beugung der Wellen zeigen.

Sehr geeignet zur Demonstration dieser wie anderer Wellenerscheinungen sind die Müller'schen stroboskopischen Scheiben und der von Eisenlohr verbesserte Wheatston'sche Apparat, der jedoch ziemlich hoch zu stehen kommt. Letzterer ist jedoch theuer, hat aber den Vorzug, daß man dem ganzen Auditorium die Demonstration auf einmal machen kann. Beide Apparate werden gekauft.

Ein schöner Versuch über die Reflexion und Interferenz der Wellen tropfbar flüssiger Körper ist folgender. Man macht sich ein Gefäß aus Holz oder Pappe von 3—4 Zoll Länge, dessen Wände elliptisch gekrümmt sind. Bei Holz schneidet man eine elliptische Oeffnung in ein Brettchen von hartem Holze, schleift sie mit Bimsstein aus und leimt einen Boden darauf. In das Gefäß kommt Quecksilber und man läßt nun aus einer Pipette Quecksilbertropfen in den einen Brennpunkt desselben fallen; die an der Wand reflectirten Wellen interferiren mit den directen Wellen und vereinigen sich in andere Brennpunkte zu einer kleinen Erhöhung. Es ist gut, wenn die Pipette über dem Brennpunkte auf irgend eine Weise befestigt ist, weil man sonst denselben beim Eintröpfeln leicht verfehlt.

Seilwellen. Das Seil, welches hiezu gebraucht werden soll, muß 102
so lang genommen werden, als es der Lehrsaal erlaubt und nicht zu dick; für 20 Fuß ist ein Durchmesser von 2—3 Linien ausreichend; vor Allem muß es sehr weich sein, und wenn man daher nicht gerade ein passendes altes Seil erhalten kann, so muß man das gewählte neue mit einem hölzernen Hammer auf hölzerner Unterlage im zusammengewickelten Zustande recht weich klopfen.

Das Seil wird an der gegenüberstehenden Wand angehängt und mit der Hand am andern Ende nur schlaff gehalten. Ein horizontaler Ruck mit der Hand erzeugt je nach seiner Größe und Schnelligkeit an dem Seile eine verschieden lange Welle, welche bis an das andere Ende fortläuft, dort reflectirt wird, wieder zur Hand zurückkehrt und dieses mit abnehmender Stärke noch ein bis zwei mal wiederholt.

Fährt man fort, die Hand hin und her zu bewegen, so gelingt es leicht, die Wellenlänge am Seile so zu treffen, daß sie ein aliquoter Theil der Seillänge ist und also die reflectirten Wellen mit den neu erzeugten ursprünglichen stehende Wellen bilden.

Schwingungsknoten an Saiten. Zur Hervorbringung von Schwin- 103
gungsknoten an Saiten bedient man sich des Monochords, wovon die Beschreibung später folgt. Man hat dabei nur die Vorsicht zu beachten, daß man die Papierstreifchen, welche auf die Knoten kommen, recht schmal nimmt; gewöhnlich setzt man auf die Knoten auch Streifchen von anderer Farbe.

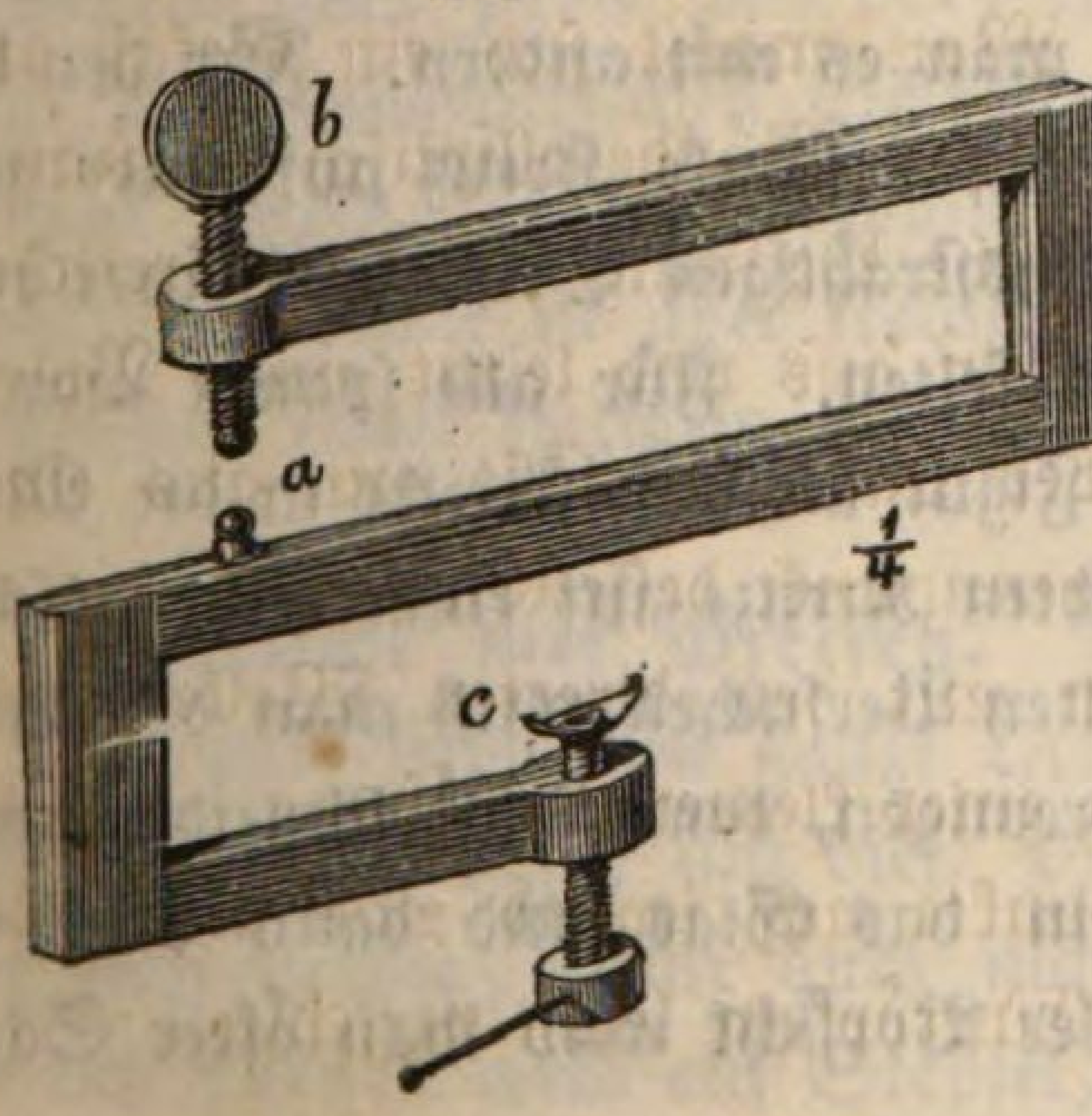
Fig. 160.



Fig. 160 zeigt ein solches Reiterchen in natürlicher Größe. Die Spannung der Saite ist ganz gleichgiltig, wenn sie nur einen Ton giebt, und der darunter gesetzte Steg dieselbe ein wenig aufwärts spannt, damit sie fest auf ihm liegt. Am besten setzt man die Saite mit dem Geigenbogen in Schwingung, wobei man ihn in der Nähe des Steges aufsetzt, und senkrecht zur Länge der Saite streicht.

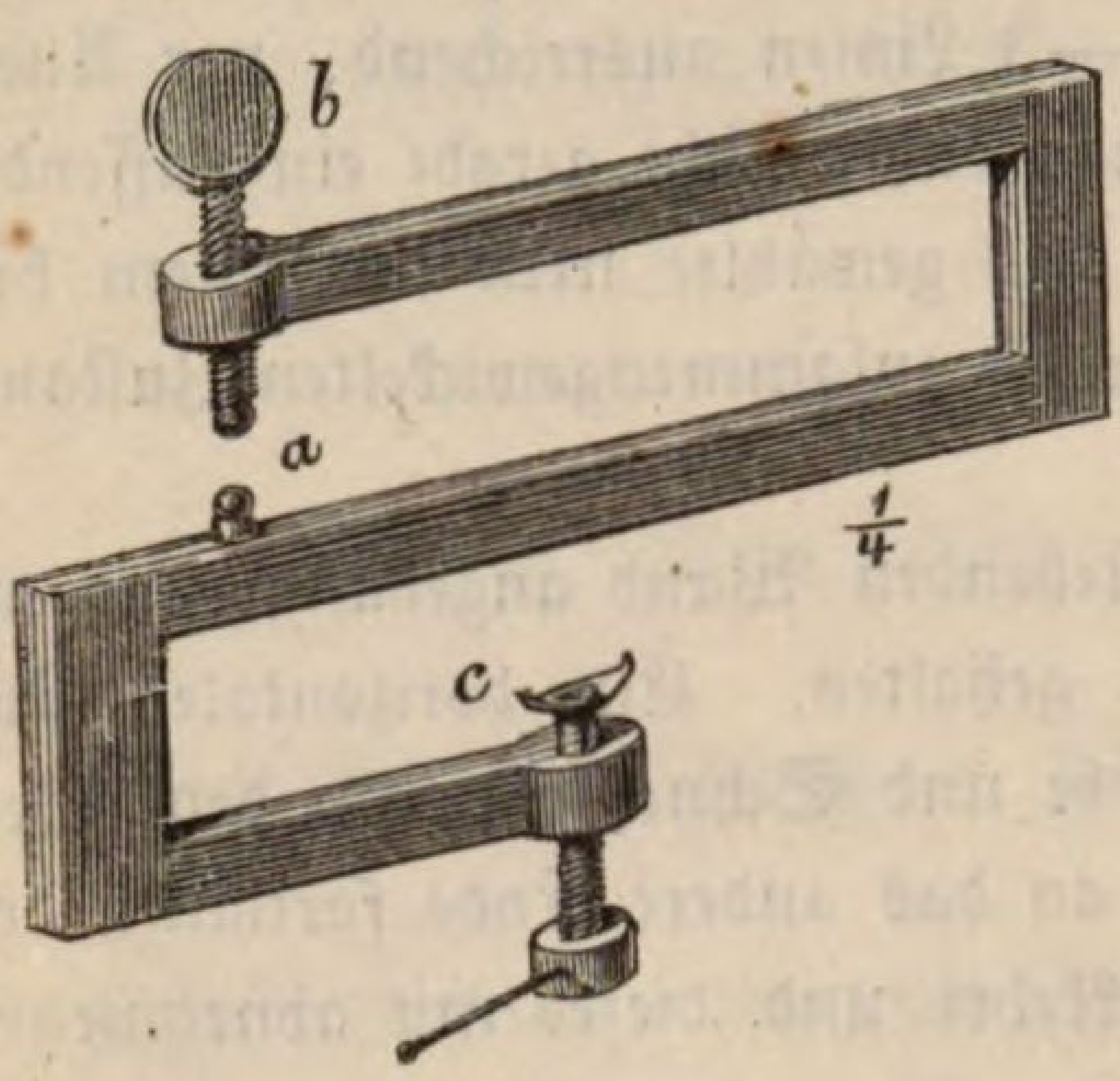
Schwingungsknoten auf Flächen. Klangfiguren. Bei der 104
Auswahl der Glasscheiben für diesen Zweck sehe man auf reines, gleichförmig dickes Glas, von der Stärke des gewöhnlichen Fensterglases. Wenn es zu dick ist, so sind die Scheiben freilich dauerhafter, geben aber nicht leicht complicirtere Figuren. Die Größe ist an sich ziemlich gleichgiltig, quadratische Scheiben können von 1—2 Decimeter Seite erhalten; zu kleine Scheiben geben aber nur schwer com-

Fig. 161.



plicirtere Figuren und zu große brechen leicht. Die Ränder werden auf einem Sandsteine ihrer scharfen Kanten beraubt. Zum Einspannen ist der Apparat Fig. 162 sehr bequem; er wird von Eisen oder recht zähem Holze gemacht; wollte man Holz wählen, so müßte er verhältnißmäßig stärker gefertigt werden. Den festgenieteten kleinen Knopf a, so wie das knopfförmige Ende der Schraube b überbindet man mit einem Stückchen starken Handschuhleders. Mittelst der Schraube c wird dieser Halter am Rand eines Tisches befestigt.

Fig. 162.



Zum Streichen nimmt man am besten einen Violoncellbogen, da Violinbögen etwas schwach sind; er wird straff gespannt und wohl mit Colophonium bestrichen.

Soll nun irgend eine bestimmte Klangfigur gemacht werden, so spannt man die Glasscheibe an einem Kreuzungspunkte der Knotenlinien zwischen die Köpfe von a und b, hält an eine dem eingespannten Punkte nahe liegende Stelle des Randes, an welcher ein Ast einer Knotenlinie auslaufen soll, die Spitze des Fingers an die Scheibe und streicht nun mit dem Bogen vertikal an einer solchen Stelle des Randes, an der die Scheibe große Bewegung machen muß, herunter, nachdem man vorher mit der Hand staubfreien Sand auf die Scheibe gestreut hat. Gewöhnlich muß man wiederholte Bogenstriche machen, bis die Figur rein ist. Der geeignetste Sand ist der Streusand von den Goldwäschen. Nicht immer wird die verlangte Figur gelingen, man wird oft eine andere, als die gesuchte, erhalten; es hängt dieses von der nach verschiedenen Richtungen ungleichen Elasticität der Glastafel ab. Gelingt es bei den drei Punkten zum Einspannen, Anhalten und Anstreichen nicht, so versucht man es mit andern. Für den Unterricht genügt es aber, das senkrechte und das schiefe Kreuz auf einer quadratischen Scheibe, das Kreuz und den sechsstrahligen Stern auf einer runden Scheibe zu zeigen, und diese fehlen selten. Für alle spannt man in der Mitte ein, hält an einem Aste der Figur an und streicht in der Mitte zwischen zwei Aesten, also beim senkrechten Kreuze auf einer quadratischen Scheibe nahe an der Ecke. Bei wiederholten Versuchen muß man das Leder an den Köpfen a und b stets von Sand reinigen, denn sonst schneiden gerne einzelne Sandkörner beim Zuschrauben in das Glas und dann bricht die Scheibe beim Anstreichen. Aber bei aller Vorsicht wird man öfter Schei-

ben zerbrechen, weil unter die Schraube kommende Sandkörner in das Glas schneiden; es ist dieses ein Uebelstand, der bei Glastafeln unvermeidlich, aber um so lästiger ist, wenn man für einen später zu erwähnenden Versuch stets wieder dieselbe Tonhöhe hervorbringen soll.

Metallplatten wären daher unstreitig vorzuziehen, wenn es nicht so schwer wäre, sie von einigermaßen gleichförmiger Elasticität zu erhalten. Complicirte Figuren, die also hohen Tönen zugehören, erhält man zwar durch eine eben gerichtete Messingplatte leicht, schwerer aber die einfachen. Am besten erreicht man den Zweck auf folgende Weise. Man läßt eine Messingplatte von etwa 1—1½ Millimeter Dicke mit hölzernem Hammer eben richten, befeilt sie quadratisch und erhält sie nun etwa 5—10 Minuten lang zwischen einem Haufen gut angefachter Kohlen möglichst gleichförmig rothglühend. Nach dem Ablöschen wird dieselbe zuerst mit Bimsstein und Wasser, dann mit einem Stücke buchener Kohlen und Oel rein geschliffen. Wenn das Messing gut war, so giebt eine solche Scheibe immer die beiden Kreuze.

Um die Knotenlinien von glockenförmigen Körpern sichtbar zu machen, dient jeder etwas weite Glascylinder, selbst jedes dünnrandige Trinkglas. Man füllt dasselbe zur Hälfte mit Wasser und streicht den Rand mit einem gut geharzten Geigenbogen; kleinere Gläser hält man dabei am Boden mit zwei Fingern auf dem Tische fest, größere Gläser bedürfen natürlich des Haltens nicht.

Reflexion des Schalles. Zu diesem Versuche kann man einen 105
für die Reflexion der Wärme bestimmten Hohlspiegel verwenden. Eine in den Brennpunkt desselben gebrachte Taschenuhr wird in der Richtung der Axe des Spiegels in ziemlicher Entfernung noch gehört, wenn die Umgebung sich gehörig stille verhält.

Die Theorie der Pfeifen wird am deutlichsten mittelst der Wel- 106
lenscheiben vom Prof. Müller erklärt. Man muß dieselben, wie überhaupt die stroboskopischen Scheiben, etwa 1½—2 Fuß von dem Spiegel entfernt halten. Man bekommt dieselben vom Mechanikus Albert in Frankfurt, könnte sie aber freilich nach der an geeigneter Stelle gegebenen Anweisung selbst fertigen.

Versuche mit Pfeifen. Von einem Orgelbauer kann man leicht 107
ein paar oder selbst eine ganze Octave Holzpfeifen erhalten. Ein Gebläse nebst Windlade dazu, um diese Pfeifen darauf zustecken, ist wohl bequem, aber nicht nöthig, kann auch nicht wohl selbst angefertigt werden. In eine der Pfeifen wird ein Stöpsel, wie Fig. 163 (a. f. S.) gerichtet, der

an seinem Kopfe ringsum, aber nicht auf seiner Basis beledert wird, um die Versuche mit gedeckten Pfeifen anzustellen. Auf dem Stiele dieses Stöpsels kann man nun sogleich verzeichnen, wie weit derselbe eingeschoben werden muß, um die verschiedenen Töne einer ganzen Octave, sowie andere Töne, die man etwa öfter braucht, zu erhalten. Will man an einer solchen Pfeife Oeffnungen anbringen, um die Schwingungsknoten oder vielmehr die Bäuche zwischen ihnen zu zeigen, so bohrt man dieselben mit dem Centrumbohrer in einer Weite von 2 — 3 Linien aus und versieht sie mit einer Klappe. Eine solche läßt sich aus einem, wie an Fig. 164 zugeschnittenen Stückchen Holze sehr leicht machen. Man leimt nämlich auf die Fläche desselben ein Stückchen weißes Schaafleder und das hervorragende Ende *b* dieses Leders auf die Pfeifen-Wand; die Fleischseite des Leders wird nach der Oeffnung gerichtet und eine Drahtfeder *c* dient dazu, die Klappe gegen die Oeffnung zu drücken. Man könnte letztere auch unter dem Stiele der Klappe selbst anbringen. Man kann allerdings die Löcher auch durch bloße Schieber verschließen, allein dieses erfordert eine genauere Arbeit. Am allereinfachsten ist übrigens der Verschluß mit dem Finger, nur muß man dann hierzu eine eigene Pfeife bestimmen, da sie zu andern Zwecken nicht mehr brauchbar wäre, und sich mit wenigen Oeffnungen begnügen. Für die Versuche mit diesen Oeffnungen muß man eine verhältnißmäßig lange Pfeife richten, weil sonst der Ort, wo sich die Bäuche bilden, nicht gerade an dem der Theorie nach bestimmten liegt, da bekanntlich die Wellenbewegung in einer Pfeife, wo also ein schmaler Luftstrom an der Lippe die Bewegung hervorbringt, zunächst bei dieser noch nicht regelmäßig ist. Die Pfeife muß zwei Fuß mindestens messen. Man kann dann in dieselbe Pfeife vier Löcher bohren, worunter eines für den Fall, wo die Pfeife gedeckt wird, und eines für die offene Pfeife an der gehörigen Stelle, die anderen zwei aber an ungehöriger, keinem Bauche entsprechender Stelle stehen, um den Erfolg auch in diesem Falle zu zeigen. Das Decken darf aber nicht durch einen Stöpsel geschehen, sondern, damit die Länge der Röhre sich nicht ändert, durch einen darübergeschobenen Deckel aus Pappe. Die Oeffnung für die offene Pfeife kommt in die Mitte der Länge, jene für die gedeckte auf $^1/_3$ vom Boden.

Fig. 163.

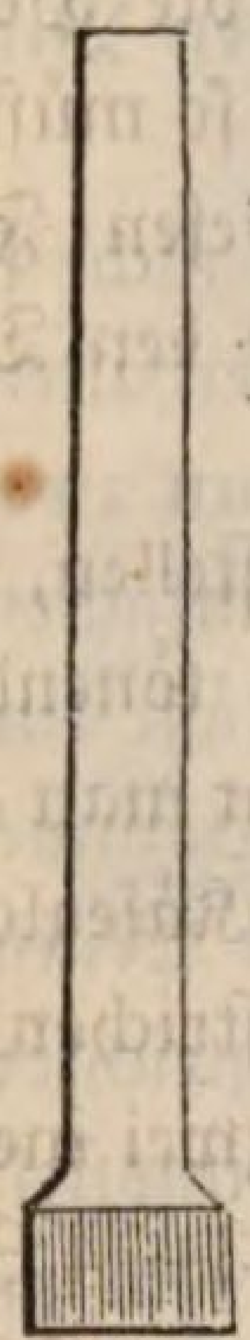


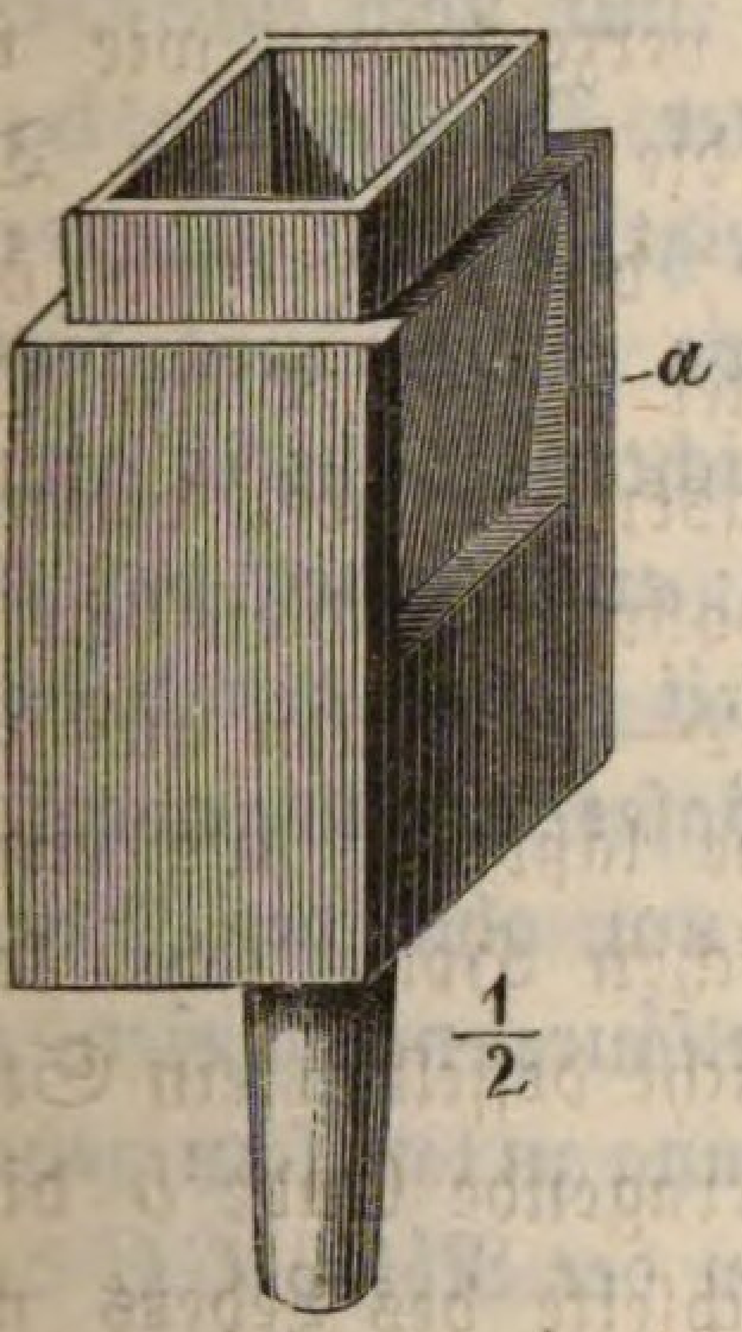
Fig. 164.



108 Um zu zeigen, daß die Substanz der Röhre keinen Einfluß auf die Tonhöhe hat, kann man sich einen Pfeifenkopf, wie Fig. 165 (a. f. S.), machen lassen und darauf unter sich gleiche Pfeifenkörper aus Holz, Zinn, geleimter Pappe, Kartenpapier u. dergl. stecken, immer geben sie alle den

gleichen Ton, aber nicht den gleichen Klang. Letzterer ist übrigens noch mehr verschieden, wenn man auch die Lippe an dem aufgesetzten Stücke läßt. Da aber die Holzdicke bei *a* als sogenannte Ohren wirkt, so müssen auf einen zinnernen Pfeifenkörper für diesen Fall ähnliche Stücke aufgelöthet werden, da sie den Ton vertiefen.

Fig. 165.



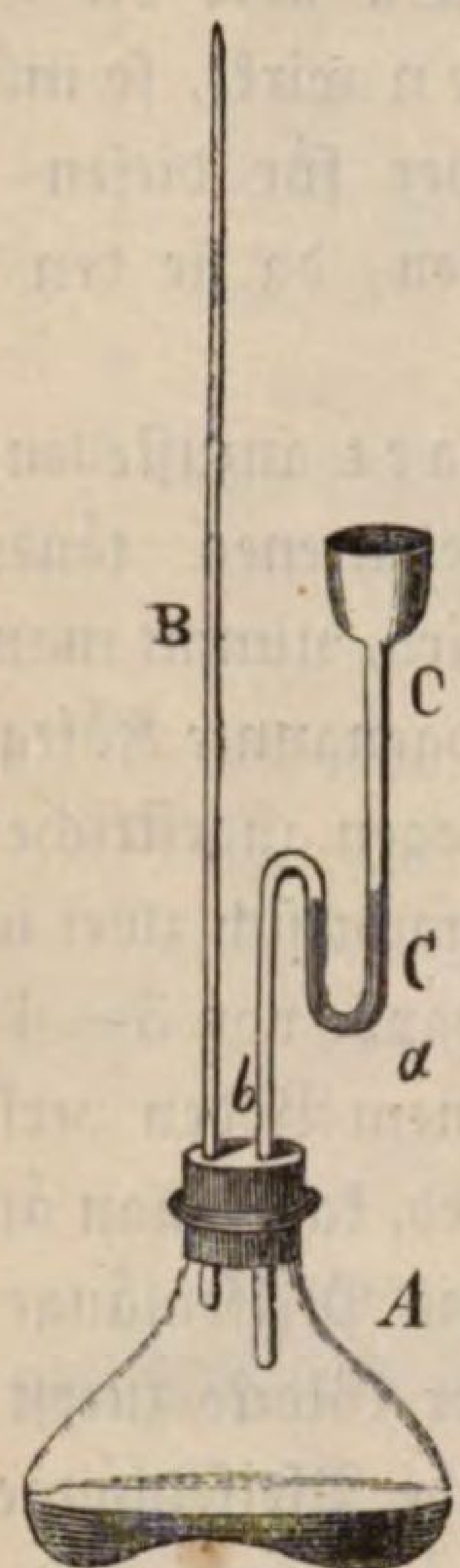
$\frac{1}{2}$

Um den Versuch von Savart anzustellen, wo eine Röhre durch einen vorgehaltenen tönenden Körper zum Mittönen gebracht wird, nimmt man am besten als tönenden Körper eine sogenannte Käseglocke von Glas, die mit dem Geigenbogen angestrichen einen etwas tiefen Ton giebt, und macht sich zwei ineinander verschiebbare Röhren aus Pappe von 3—4 Zoll Durchmesser, deren weitere mit einem Boden versehen ist. Die engere Röhre, welche in die weitere verschoben wird, kann man äußerlich mit einer Skale versehen, an der man sogleich die Pfeifenlänge ablesen kann. Es ist am besten, wenn man den Ton der Glocke zuerst auf dem Klaviere sucht, und dann hieraus die entsprechende Pfeifenlänge berechnet, indem man die Schwingungszahl des $\bar{a}$ zu 440 annimmt und mit der gefundenen Schwingungszahl in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles dividirt, um die Wellenlänge zu erhalten, deren vierter Theil dann der gedeckten Pfeifenlänge entspricht. Es ist gut, wenn der Ton der Glocke in die sogenannte kleine Octave fällt, denn bei hohen Tönen ist der Erfolg sehr zweifelhaft; mit einer Stimmgabel resonirt mehr oder weniger jedes beliebige nicht zu enge Gefäß; freilich am stärksten auffallend ein solches, das nahezu 7 Pariser Zoll mißt und dabei 2—4 Zoll weit ist. Bei tiefern Tönen ist aber der Erfolg bei weitem überraschender. Hat man die Länge der Röhren gerichtet, so stellt man diese gerade auf den Tisch, faßt die Glocke beim Knopfe und streicht sie mit dem Bogen so an, daß sie wieder ihren tiefsten Ton giebt, was man oft längere Zeit vergeblich versucht, hat man ihn aber gefunden, so läßt er sich leicht wiederholen. Die Wand der tönenden Glocke wird dann dicht über die Oeffnung der Röhre gehalten. 109

Die chemische Harmonika. Zu diesem Versuche verwendet man am besten ein Gefäß mit weitem Boden wie *A*, Fig. 166, (a. f. S.) in welches ein doppelt durchbohrter, etwas langer Korkstöpsel gut paßt, damit man ihn fest einstecken kann. In diesen Stöpsel sind zwei Glasröhren *B*, *C* gekittet, doch ist es besser, wenn sie ohne Kitt gut schließen. Um letzteres besser zu erreichen, macht man ihr unteres Ende an der Lampe etwas konisch, wo- 110

durch es zugleich die Schärfe verliert und beim Durchstecken den Kork nicht mehr angreift. Die Röhre *B* wird in eine Spitze ausgezogen, so daß sie nur noch eine Oeffnung von $\frac{1}{2}$ — 1 Millimeter Durchmesser hat; *C* aber wird, wie die Figur zeigt, doppelt gebogen; hat eine innere Weite von etwa 1 Linie und dient als Sicherheitsröhre. Der Trichter an ihr ist zwar nicht nöthig, aber sehr bequem; er verhütet, daß die bei *a* befindliche Sperrflüssigkeit durch den Ueberdruck des in *A* entwickelten Gases hinausgeworfen wird, und dient zugleich dazu, um, ohne den Pfropf zu lüften, noch mehr Schwefelsäure nachgießen zu können, wenn die Gasentwickelung zu langsam gehen sollte, weil dann der Druck in der Röhre *CC* den Heber *ab* zum Fließen bringt. Ist kein Trichter an der Röhre, so muß man den Pfropf herausnehmen, um Schwefelsäure nachzufüllen. Wenn die Gasentwickelung schon recht im Gange ist (am einfachsten aus Eisenfeile und auf $\frac{1}{4}$ verdünnter Schwefelsäure), läßt man das Gefäß noch 5 — 10 Minuten lang offen stehen, bevor man den Pfropf aufsetzt, damit die atmosphärische Luft entfernt wird und sich kein Knallgas in der Flasche befinde, wenn man das ausströmende Gas an der Spitze von *B* anzündet. Auch darnach muß der Apparat beim Anzünden an eine Stelle gebracht werden, wo das Zerspringen Niemand gefährlich werden kann.

Fig. 166.



Das hervorströmende Gas muß eine mindestens 2 Zoll lange Flamme bilden, dann erst hält man eine $1\frac{1}{2}$ — 2 Zoll weite, 2 — 4 Fuß lange Glasröhre über die Röhre *B* und sucht durch Heben und Senken der weiten Röhre die Stelle, wo der kräftige, aber nichtsweniger als angenehme Ton entstehen kann, d. h. wo der Rest der Röhre die entsprechende Pfeifenlänge bildet.

111 **Der Versuch von Hopkins zur Nachweisung der Schwingungsknoten.** Die Röhre, welche zur sogenannten chemischen Harmonika diente, kann auch hierzu verwendet werden. Ein besonderes Gestelle dazu ist nicht nothwendig; man bindet dieselbe in entsprechender Höhe an den senkrechten Theil einer Schraubzwinge, deren man ja doch einige zu so mancherlei Befestigungen bedarf, und schraubt sie an den Tisch. Als vibrirende Platte wäre freilich Glas sehr gut, allein seiner Gebrechlichkeit wegen ist hier durchaus eine Messingplatte vorzuziehen, da es darauf ankommt, stets wieder genau denselben Ton hervorzubringen. Die Platte braucht aber hiezu nicht besonders präparirt zu sein, selbst eine mit eiser-

nem Hammer ebengerichtete Platte aus gewalztem Messingblech ist brauchbar. Man schraubt dieselbe in ihrer Mitte in den Halter, Fig. 162, bringt sie dicht unter die Röhre und versucht es durch Anhalten und Anstreichen an verschiedenen Stellen eine etwas einfache Klangfigur hervorzubringen. Die Rückwirkung der Röhre auf die Platte veranlaßt diese viel eher zu einem der Röhre entsprechenden Tone und man erkennt es an seiner Stärke sehr wohl, daß die Luft in der Röhre mittönt. Hat man eine solche Figur von nicht zu hohem Tone gefunden, so daß nämlich eine dem Rande entsprechende Abtheilung der Klangfigur auch noch nahezu die Größe der Röhrenöffnung hat, so bezeichnet man die Stelle zum Anhalten und Streichen auf der Platte selbst, weil wegen der ungleichen Elasticität wohl nur selten andere ebenso gegen die Ränder liegende Stellen dafür genommen werden können; die Röhre wird dann mitten über diesen Theil in einem Abstande von $\frac{1}{2}$ — 1 Linie gerichtet. Statt des sonst abgebildeten Rähmchens, auf welchem eine feine Membran mittelst eines Hölzchens gespannt werden soll, nimmt man besser einen etwa 1—2 Linie breiten Reif von Metall, dessen Durchmesser halb so groß ist, als jener der Röhre, und bespannt ihn mit recht feinem Papiere, so wie man beim Aufspannen auf das Reißbrett verfährt. Es hat dieses den Vortheil, daß der Sand nicht immer darüber herunterrutscht, wie bei dem viereckigen Rähmchen und ein verschiedenes Anspannen des Papieres, je nach der Tonhöhe, ist ganz unnöthig, wenn es auch ausführbar wäre. Dieses Rähmchen hängt man an drei Fäden, die in einen zusammenlaufen, auf, und läßt diesen über den obern, mit Papier überleimten Rand der Röhre gehen, so daß man durch ein äußeres Gegengewicht das Rähmchen an jeder Stelle der Röhre erhalten kann und die Hände frei bekommt.

Man sucht nun jene Stellen der Röhre, an welchen der in das Rähmchen gebrachte Streusand sich am wenigsten bewegt, wenn die darunter befindliche Platte angestrichen wird. Hat man zwei derselben annäherungsweise gefunden, so wird man aus ihrer ungefähren Entfernung und der Länge der Röhre leicht ihre wahre Entfernung ableiten, da nämlich die Entfernung der Knotenpunkte ein aliquoter Theil der Röhrenlänge sein muß, wobei der oberste und unterste Knoten um die Hälfte der Entfernung eines Knotens vom andern vom Ende der Röhre abstehen. Diese Stellen bezeichnet man durch Kreide und sobald man sich durch den Versuch über die Richtigkeit vergewissert hat, durch schmale aufgeleimte Papierstreifchen *), um beim Unterrichte schnell den Unterschied in der Be-

---

*) Beiläufig sei hier bemerkt, daß es sehr bequem ist, immer einerseits mit gutem Leime stark bestrichenes weißes Papier vorräthig zu haben, von dem man nur das erforderliche Stückchen herunterschneidet und mit Speichel benetzt, um es irgendwo, wie etwa als Aufschrift an ein Glas u. dgl. sehr haltbar zu befestigen.

wegung des Sandes zeigen zu können, je nachdem das Rähmchen sich an einem Knoten oder an einem Bauche befindet. Um dasselbe nun für gedeckte Pfeifen nachzuweisen, macht man eine einerseits verschlossene Röhre von Pappe so lang im Lichte, als die Entfernung der Knoten beträgt, und so weit, daß man sie gerade auf die Röhre stecken kann. Sie wird in der Mitte des Bodens mit einem kleinen Loche versehen, durch welches man den Faden des Rähmchens zieht. Steckt man nun diese Papprөhre so auf das Glas, daß ihr unterer Rand bis zum ersten Knoten reicht, so ist das Ganze um eine halbe Knotendistanz länger und das Rähmchen zeigt beim Anstreichen der Scheibe noch die Knoten an denselben Stellen; die Bewegung des Sandes ist sogar jetzt an den Bäuchen lebhafter als vorher. Steckt man aber die Papprөhre mehr oder weniger tief auf das Glas, so wird der Ton schwächer und der Sand zeigt beinahe keine Bewegung.

Daß man aus der Knotendistanz die Pfeifenlänge erhält, dann daraus, indem man a̅ zu 440 Schwingungen nimmt, die ungefähre Tonhöhe herleiten und diese wieder an einem Klaviere oder am Monochorde vergleichen kann, eignet sich zwar nicht für den Unterricht, ist aber immerhin eine gute Uebung für den, der diese Dinge genauer studiren muß. Ebenso kann man für sich dieselben Versuche mit verschiedenen Tönen der Platte durchmachen, um die erforderliche Uebung und Sicherheit zu erlangen.

112 **Die Sirene.** Wenn man eine Sirene mit Zähler hat, so kann man sie mit dem Blasbalge, den man für das Glasblasen doch wohl gewöhnlich hat, in Verbindung setzen, indem man statt des messingenen Blasrohres ein gebogenes Glasrohr einsetzt und dieses durch Kautschuck mit der Röhre der Sirene verbindet. Als Zeitmesser dient dann eines der früher beschriebenen Secundenpendel. Durch Veränderung des Gewichtes auf dem Blasbalge kann man die Sirene auf einen beliebigen Ton bringen und nach Belieben darauf erhalten. Anstatt einer solchen eigentlichen Sirene kann man sich aber auch der Centrifugalmaschine bedienen. Man schraubt auf die Axe derselben ein Stück Holz *a a*, Fig. 167, welches selbst auf seiner oberen Fläche eine hölzerne Schraube trägt, über die man in der Mitte durchlöcherte Pappscheiben streifen und durch die hölzerne Mutter *b b* befestigen kann. Diese Pappscheiben müssen sehr eben sein und erhalten in geringer Entfernung vom

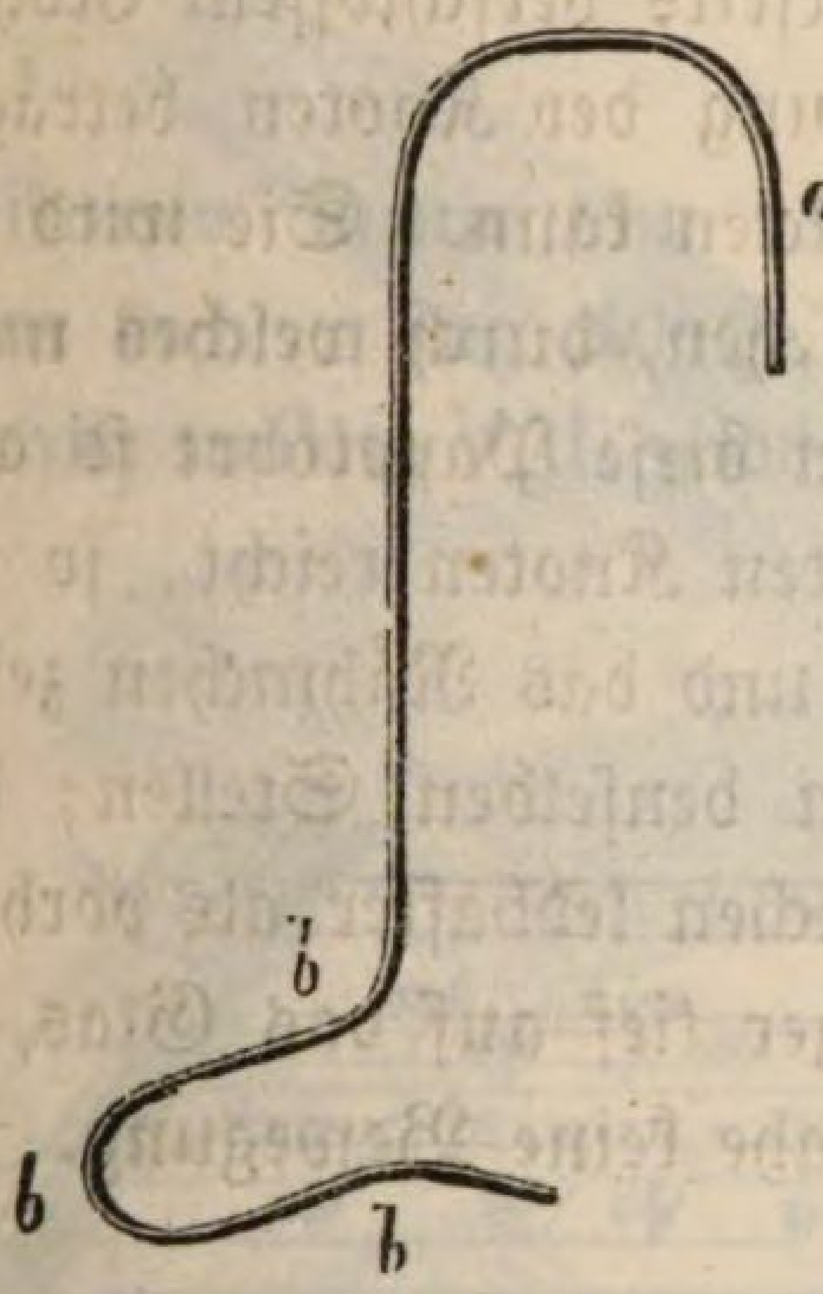
Fig. 167.



Umkreise gleichförmig darauf vertheilte runde Löcher von 1 — 1½ Linien Durchmesser mittelst eines gewöhnlichen Durchschlages; man kann auf derselben Scheibe eine zweite und dritte Reihe einschlagen, immer aber müssen die Zwischenräume nur um Weniges größer sein, als die Löcher.

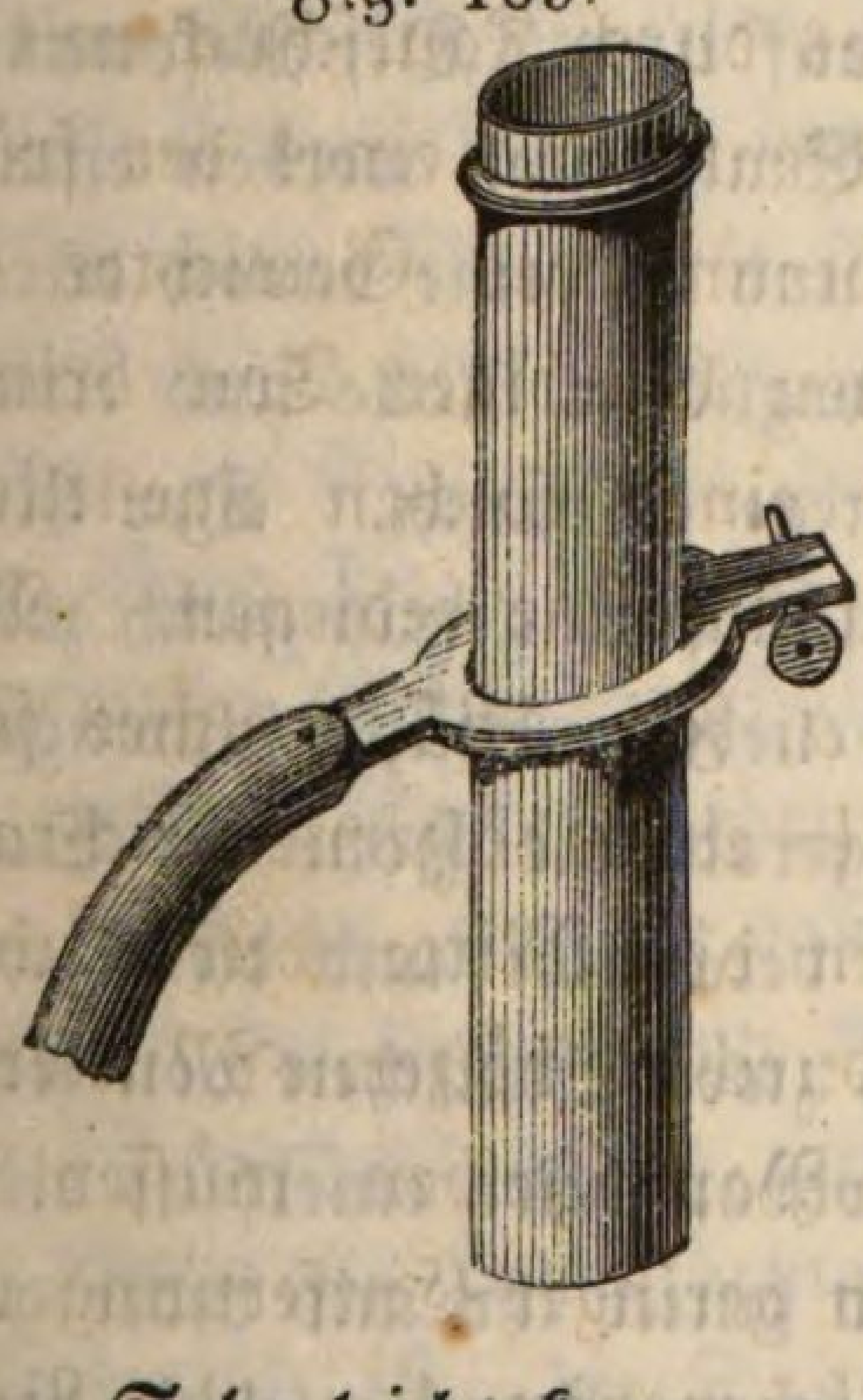
Man biegt sodann einen starken Draht, wie Fig 168, steckt ihn mittelst der Klammer *b b b* an das Grundbrett der Schwungmaschine so, daß das Ende *a* über der Löcherreihe einer Pappscheibe steht, und bindet nun an *a* das Blasrohr, welches so nahe als möglich an die Scheibe reichen muß, sie aber nicht berühren darf. Das Blasrohr selbst kann aus einer weitern Blechröhre bestehen, in deren Boden ein Loch von etwa $1/2$ Linie Durchmesser gebohrt wird, oder aus einer ausgezogenen Glasröhre. In beiden Fällen wird eine zweite Röhre von Glas mittelst eines Zwischenstückes aus Kautschuk mit dem Blasrohr verbunden, um letztere bequemer in den Mund nehmen zu können.

Fig. 168.



Da es hier auf die Windstärke nicht ankommt, so bläs't man gewöhnlich mit dem Munde, während man das Schwungrad der Maschine immer schneller dreht, bis man die gewünschte Tonhöhe erreicht hat. Ist nun das Schwungrad schwer, so kann man sehr leicht so lange den Ton auf gleicher Höhe erhalten, bis man mittelst des Secundenpendels gefunden hat, wie viel Umdrehungen das Schwungrad in einer bestimmten Zahl von Secunden macht. Aus dem Verhältnisse des Schwungrades zur Rolle und aus der Löcherzahl der Scheibe läßt sich dann leicht die Schwingungszahl berechnen. Rathsam dürfte es immer sein, eine andere Person blasen zu lassen, um seine Aufmerksamkeit ungetheilt dem Zählen zuwenden zu können.

Fig. 169.



Wenn das Schwungrad der Maschine nicht schwer ist, so gelingt es nicht, tiefe Töne constant zu erhalten, weil man dann nie im Stande ist, eine gleichförmige Drehung zu bewirken; mit hohen Tönen geht es aber auch bei einem leichtern Schwungrade.

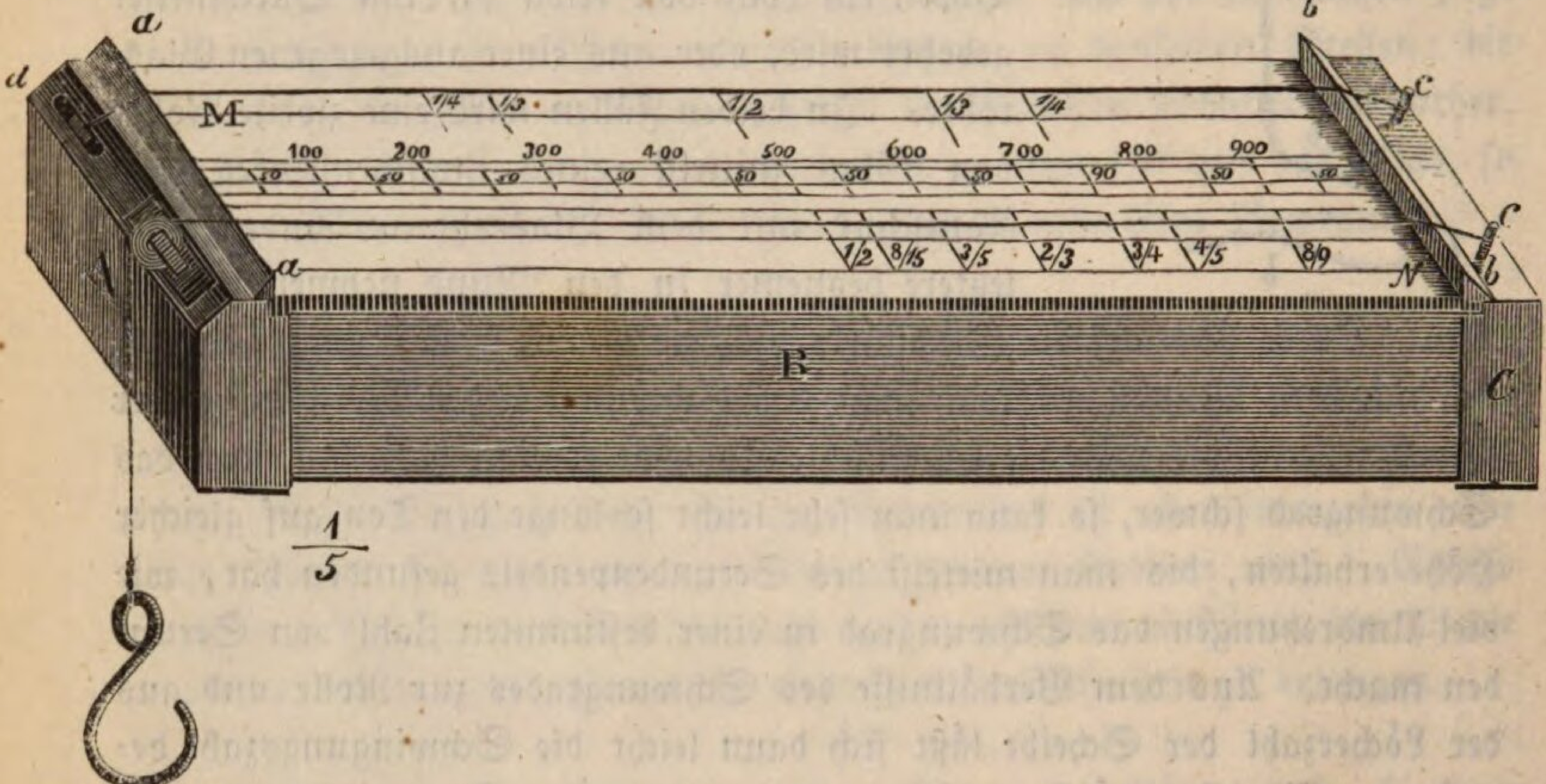
Will man etwas mehr Arbeit auf den Apparat verwenden, so kann man dem obern Theil des gebogenen Drahtes von Fig. 168 die Gestalt wie Fig. 169 geben, wodurch der Apparat bequemer wird; auch könnte in dem Bogen *bbb* Fig. 168 von unten eine Stellschraube angebracht werden.

Sehr leicht kann man auch ein etwas größeres Steigrad aus einer alten Uhr so an ein Stückchen Holz befestigen, daß es mit diesem concentrisch auf die Axe der Schwungmaschine gesteckt werden kann. Andere Räder sind hiezu weniger zweckmäßig, wenn gleich ebenfalls brauchbar. Man

erregt dann die Schwingungen durch ein Streifchen Kartenpapier, das man so gegen die Zähne des Rades hält, daß es beinahe mit der schiefen Fläche der Steigradzähne parallel wird.

113 **Das Monochord.** Das Monochord besteht aus einem viereckigen Rahmen *ABC* Fig. 170, aus starkem, hartem Holze, auf welchen ein Resonanzboden aus astfreiem geradefaserigen Tannenholze *MN* geleimt wird.

Fig. 170



Zwei Stege *aa*, *bb* sind zum Theile noch auf den Resonanzboden gesetzt und ihre gegen diese gekehrte Seite steht senkrecht auf ihm. Der Resonanzboden wird mit weißem Papiere beleimt. Zwei Stahlsaiten werden einerseits an schief eingeschlagene Stifte *cc* gehängt, und die eine davon durch einen Nagel *d*, die andere mittelst einer leichtbeweglichen Rolle und eines starken Hakens durch Gewichte über die beiden Stege gespannt. Der Resonanzboden muß sehr eben sein, so daß die Saiten überall genau gleich weit von demselben abstehen. Um von den Saiten beliebige Stücke schwingen zu lassen, muß man einen Steg untersetzen, der gerade die Höhe der Saiten hat, so daß ihre Spannung dadurch nicht verändert und die Saite doch gehalten wird. Einfach läßt sich dieses durch zwei Stückchen von sehr hartem Holze (Weißbuchenholz, Bux) erreichen, wovon beide einerseits eine scharfe, gerade, hervorstehende Kante erhalten, und hinter ihr mit Leder gefüttert werden; seitlich werden sie durch ein aufgeleimtes Leder gelenkig verbunden, Fig. 171 (a. f. S.). Das untere steht etwas weiter vor und hat auf beiden Seiten einen zur Standfläche von der scharfen Kante aus senkrecht heruntergezogenen Strich *a*, der dazu dient, die Kante des Steges

genau über einen Theilstrich des Monochords zu stellen, worauf dann das obere Stück zugeklappt und durch den Finger oder ein kleines Gewicht aufgedrückt wird. Die Saite wird dadurch, ohne daß sie leidet, was bei metallenen Klemmen leichter eintritt, gehörig festgehalten, und der Rest derselben zu schwingen verhindert; soll der Rest aber mitschwingen, so muß man einen einfachen Steg, Fig. 172, untersetzen, der dann etwas höher ist, als die Saite, ihre Spannung also ändert, was aber für diesen Fall nichts schadet, da es sich hier nur um die Darstellung der Schwingungsknoten handelt.

Fig. 171.

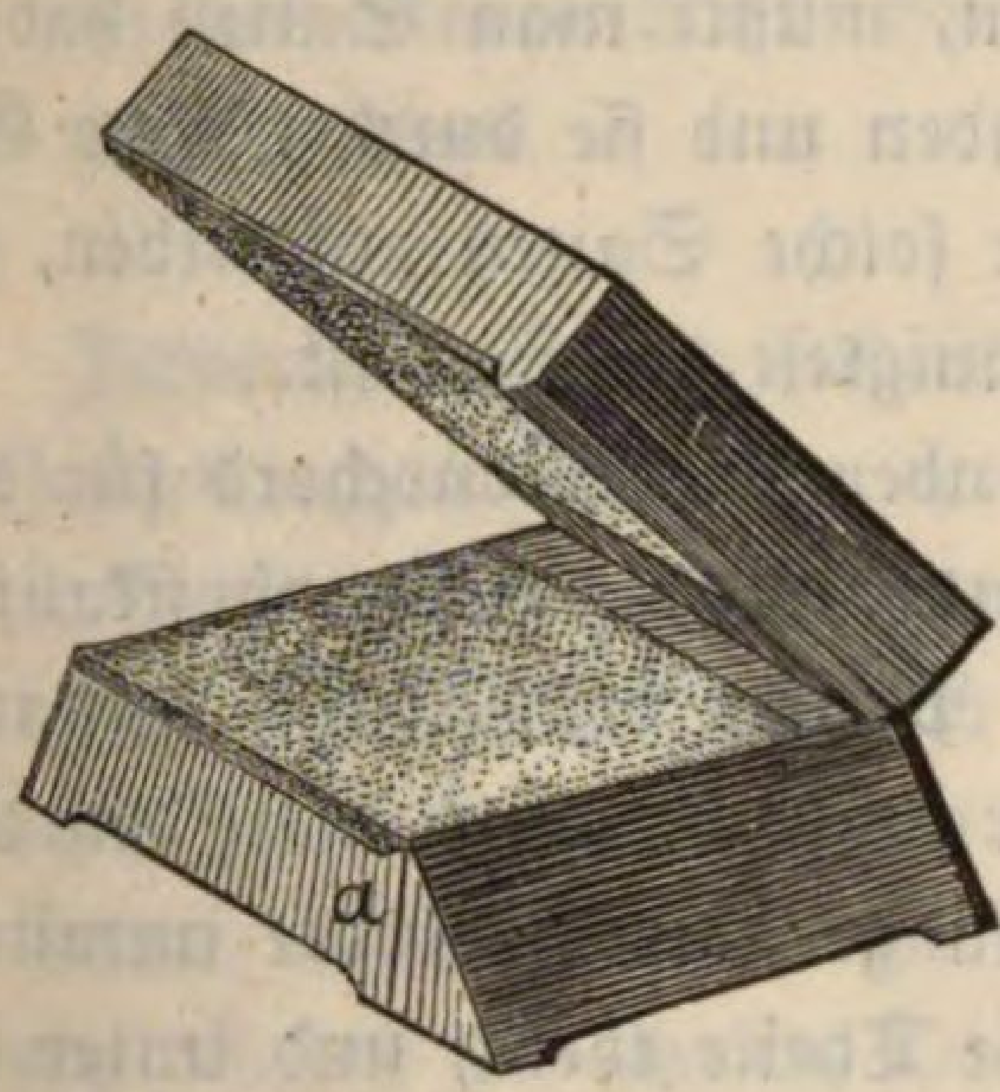
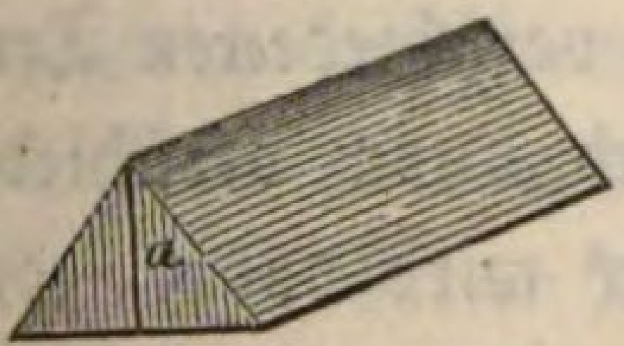


Fig. 172.



Für diesen Zweck ist unter der durch den Nagel gespannten Saite eine Linie gezogen und in Drittel, Viertel und etwa noch in Fünftel getheilt. Man schiebt den Steg Fig. 172 mittelst seines Striches *a* über eine dieser Theilungen, besetzt den Rest der Saite mit dem papiernen Reiterchen und setzt das abgeschnittene Stück durch den Finger oder besser durch den Geigenbogen in Schwingung.

Mit dem Monochorde wird nun ferner gezeigt, daß die Schwingungszahlen umgekehrt der Saitenlänge proportional seien. Zu dem Ende ist auch unter der mit Gewicht spannbaren Saite eine Linie gezogen und in die den Tönen der Octave entsprechenden Theile getheilt, wie Fig. 170 zeigt. Die Saite wird durch Gewicht so stark gespannt, daß sie einen klaren Ton giebt, mit dem man die andere Saite durch den Nagel in Einklang setzt; man lüftet dabei mit dem Finger die durch Gewicht gespannte Saite über dem Stege gegen die Rolle, da durch die Reibung auf dem Stege die Einwirkung des Gewichtes vermindert wird. Setzt man nur den Steg Fig. 171 auf die betreffenden Theilstriche, so giebt das abgeschnittene Stück der Saite den verlangten Ton, was man an dem von der andern Saite gegebenen Grundtone vergleichen kann.

Um zu zeigen, daß sich die Schwingungszahlen, wie die Quadratwurzeln der spannenden Kräfte verhalten, wird man wegen der Länge, die ein Monochord haben muß, selten das Gewicht vierfach nehmen können, da schon zur Hervorbringung eines klaren Tones ein ziemliches Gewicht erforderlich ist; die Saite würde beim vierfachen meist reißen. Wollte man zu starke Saiten nehmen, so würde aber das Monochord leiden. Allein wenn man die Gewichte = 4 : 9 nimmt, wobei das Gewicht des Hakens mitzuzählen ist, so giebt die Saite die Quinte, was man wieder

mit der andern Saite vergleichen kann, wenn man diese vorher mit der durch das Gewicht 4 gespannten in Einklang setzte.

Um den Einfluß der Dicke nachzuweisen, müßte man Saiten haben, deren Dicken in einfachem Verhältnisse ständen und sie durch gleiche Gewichte spannen. Man wird aber nur schwer solche Saiten auftreiben, bei denen dieses mit der hier erforderlichen Genauigkeit der Fall ist.

Außer den angeführten Versuchen ist aber das Monochord für den Physiker noch ein sehr wichtiges Instrument, wenn er die physikalische Theorie der Intervalle und manche andere Punkte der Akustik genauer durchstudiren will. Zu dem Ende ist es sehr bequem, wenn man den Resonanzboden auf seiner Mitte der ganzen Länge nach entweder unmittelbar oder durch Transversalen in 1000 gleiche Theile theilt, und unter der durch Gewicht gespannten Saite außer den Haupttönen der Octave auch alle verschiedenen Nebentöne für ♯ und *b*, so wie die verschiedenen Temperaturen aufträgt. Alle diese Theilungen können sich durch verschieden lange Striche und verschiedene Farben unterscheiden. Es wird daher jedem daran liegen, der diesen Theil der Naturlehre nicht aus andern Gründen übergehen will, sich seinen Monochord möglichst bequem einzurichten; um so mehr, da keine Unkosten damit verknüpft sind.

114 **Longitudinalschwingungen.** Am einfachsten bringt man die Längenschwingungen mit einer etwa 1 Centimeter weiten Glasröhre hervor, indem man dieselbe in der Mitte mit zwei Fingern senkrecht hält und dann die eine Hälfte mit einem nassen wollenen Lappen der Länge nach gelinde reibt. So lange die Glasröhre tönt, zeigt sich ihre nasse Oberfläche gekräuselt. Bringt man einen leicht beweglichen Korkpfropf in das eine Ende der Röhre, so bewegt er sich während des Tönens und rückt näher gegen die Mitte. Nimmt man hölzerne Stäbe oder metallene, so muß man entweder den wollenen Lappen mit Colophonium bestreuen oder eine kurze Glasröhre daran kitten, die man dann mit dem nassen Lappen reibt. Durch verschieden starkes Reiben kann man verschieden hohe im Verhältniß von 1, 2, 3 ꝛc. stehende Töne hervorbringen, doch gelingt es nicht bei allen Glasröhren ꝛc. leicht.

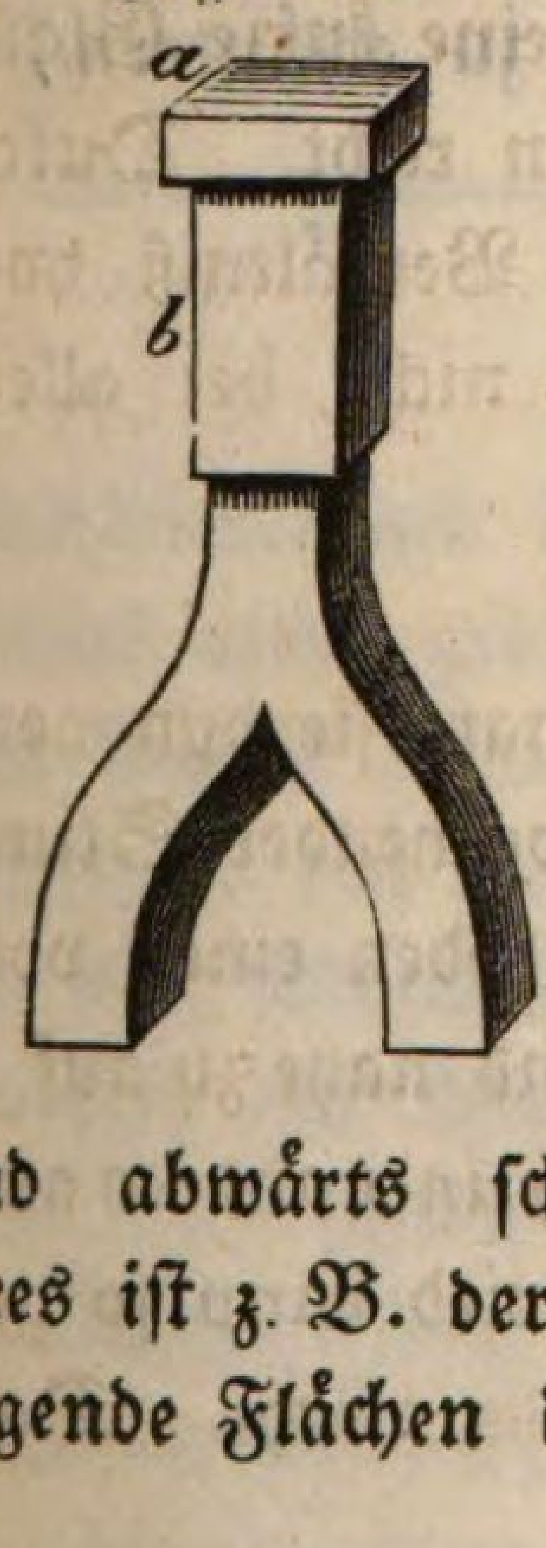
115 **Die Stimmgabel.** Bei den Eisenhändlern trifft man sie von verschiedener Güte um sehr billige Preise, allein von sehr abweichender Stimmung. Man wählt solche aus, welche auf einem Resonanzboden einen vollen Ton geben, denselben lange ohne zu steigen aushalten und nahe zu auf $\bar{a}$ gestimmt sind. Man bedarf deren zwei, wovon man eine nach einer andern aus zuverlässiger Hand geliehenen auf $\bar{a}$ abstimmt, die zweite wird dann so gerichtet, daß sie mit der erstern etwa 4 Stöße in der Secunde macht. Das

Stimmen dieser Gabeln geschieht durch Befeilen; sind sie zu tief, so verkürzt man ihre beiden Schenkel, sind sie zu hoch, so macht man sie durch Befeilen von der innern Seite dünner. Man muß dabei beide Schenkel möglichst gleich halten.

Interferenz der Schallwellen. Will man mit der Stimmgabel 116
die Interferenz der Wellen ihrer beiden Arme zeigen, so braucht man sie nur nach dem Anschlagen horizontal über einem Gefäß von 7 Pariser Zoll Höhe und 3—4 Zoll Weite um ihre Längenaxe zu drehen; man wird deutlich während jeder Umdrehung ein viermaliges Anschwellen und Verschwinden des Tones wahrnehmen. Eine einzelne Person braucht übrigens nur die tönende Gabel vor ihrem Ohre zu drehen, um die gleiche Beobachtung machen zu können. Die Stöße, welche beide Stimmgabeln geben, wenn sie zugleich auf einen Resonanzboden — auf einen leeren Tisch — an einen Kasten — gehalten werden, sind am deutlichsten, wenn beide Gabeln in derselben Ebene schwingen. Die Beobachtung dieser Stöße ist überhaupt das Mittel, durch das man zwei Gabeln, zwei tönende Körper überhaupt, am leichtesten in vollständigen Einklang setzen kann. Denn das bloße Gehör verläßt uns leicht, wenn der Einklang bereits nahezu erreicht ist, besonders wenn die beiden Körper sehr ungleichartigen Klang haben.

Um den Interferenzton hervorzubringen, den der Grundton mit seiner Quinte giebt, nimmt man die Pfeife mit dem Stöpsel und stellt diesen so, daß die gedeckte Pfeife eine reine Quinte tiefer wird, als eine andere offene Pfeife; die Stellung des Stöpsels zeichnet man dann für künftige Versuche auf seinem Griffe. Nimmt man nun beide Pfeifen zugleich in den Mund und bläst sie gleichförmig an, so kann man die nächst tieferen Octave sehr deutlich mit hören.

Fig. 173.



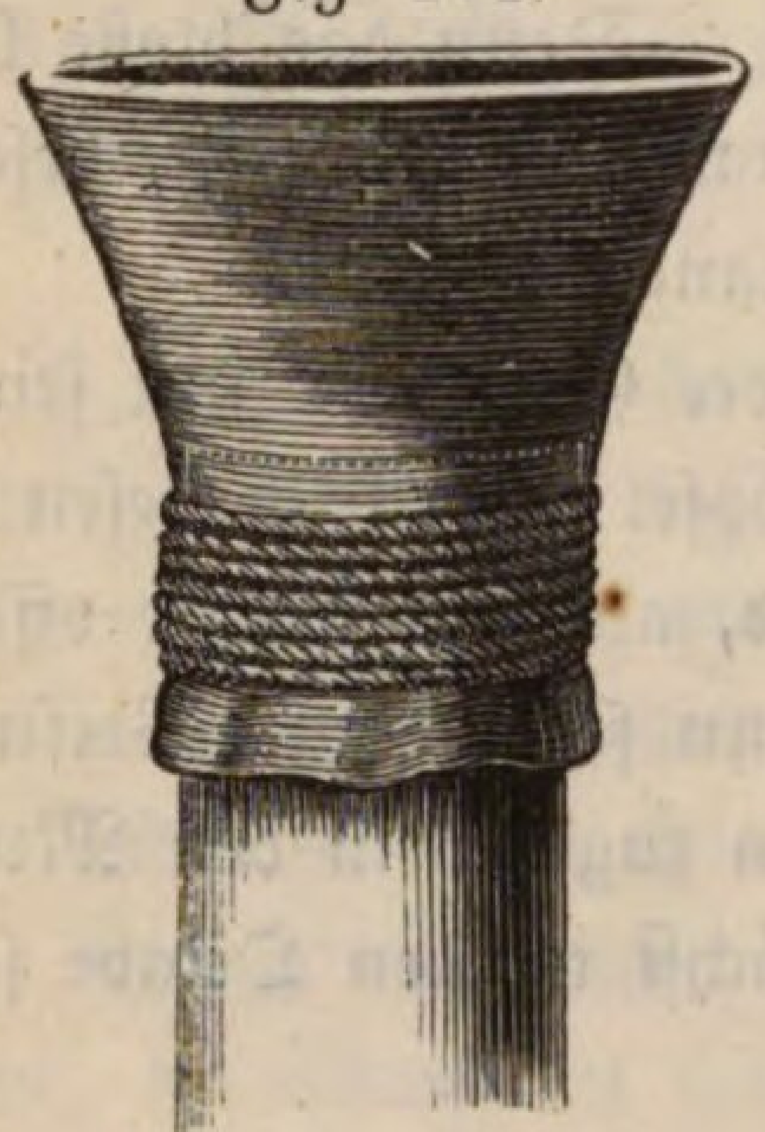
Wenn man eine gabelförmige Röhre, wie Fig. 173 aus Holz oder Pappe macht, deren Schenkel so lang sind, daß man sie auch über die Schraube *b* in Fig 162 weg einer in die ebengenannte Figur eingeschraubten Scheibe bis auf etwa eine halbe Linie nähern kann, und über das gemeinschaftliche Ende ein dünnes Papier spannt, worauf Sand gestreut wird, so bleibt dieser Sand ruhig, wenn man die Gabel über zwei Stellen der Scheibe hält, wovon die eine aufwärts, während die andere abwärts schwingt. Hält man aber die Schenkel der Röhre über zwei Stellen der Scheibe, welche zugleich aufwärts und abwärts schwingen, so wird der Sand lebhaft bewegt. Letzteres ist z. B. der Fall, wenn man die Röhre über zwei nicht an einander liegende Flächen der Scheibe hält, wenn diese als Klangfigur ein einfaches

Kreuz giebt, während zwei an einanderliegende Flächen die erstere Erscheinung hervorbringen.

Sehr häufig bildet dann der Sand auch auf dem dünnen Papiere eine Klangfigur, die jedoch nichts mit der andern gemein hat. Um letztere Klangfigur rein hervorzubringen, ist die Länge der gemeinschaftlichen Röhre nicht gleichgiltig und man spannt deshalb das Papier erst auf einer zweiten über der ersten verschiebbaren Röhre *a b* auf, um die Länge nöthigenfalls ändern zu können.

117 **Die Stimmorgane.** Für die Erläuterung, wie das menschliche Stimmorgan im Allgemeinen wirke, dienen am einfachsten die menschlichen Lippen; gerade so, wie diese durch verschiedene Spannung beim Hindurchtreiben der Luft z. B. an einem Trompeten-Mundstücke verschiedene Töne geben, so findet dieses an den sogenannten Stimmbändern Statt. Will man aber durchaus gleichfalls eine dünne Membran anwenden, so binde man auf eine Glasröhre, *a* Fig. 174, eine Röhre *b* aus dünnem Kautschuk, ziehe dieselbe an ihrem Ende mit beiden Händen breit, so daß sie nur noch eine Spalte bildet und blase hinein; je nachdem man die Spannung ändert, kann man verschiedene Töne erhalten.

Fig. 174.



118 Für die Erläuterung des Gehörorgans ist außer der Anschaffung eines aus Papiermasse gefertigten Modells, deren man von Paris sehr schöne erhalten kann, Nichts weiteres zu thun, als daß man sich gelegenheitlich die Gehörknöchelchen aus einem gekochten Kalbskopfe herausnimmt, um sie vorzeigen zu können; Wachspräparate anzuschaffen, um die Structur des Gehörorganes genauer zu erläutern, ist wohl zu kostspielig für Geld und Zeit.

Fünfter Abschnitt.

Versuche über das Licht.

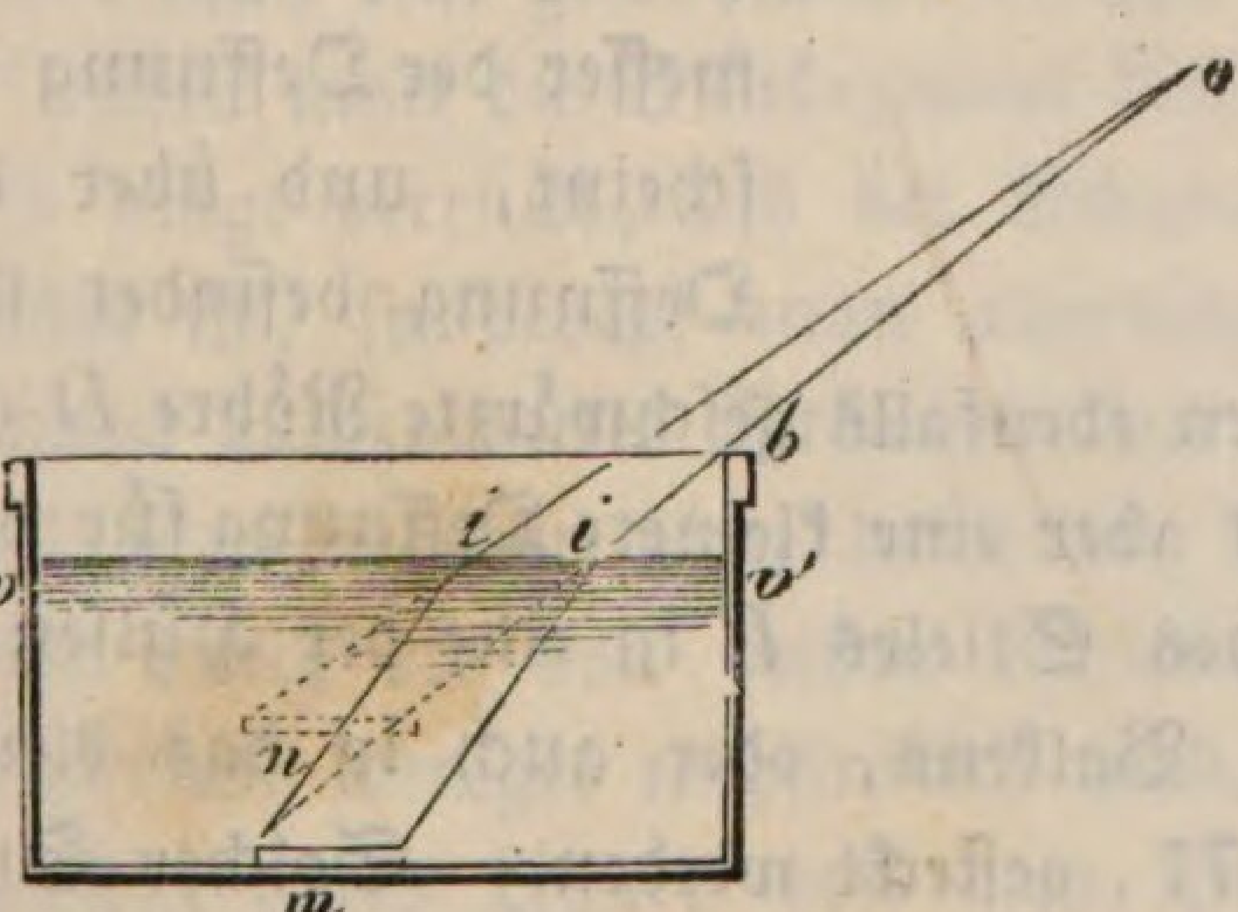
A. Versuche über Fortpflanzung und Stärke des Lichtes.

Die allgemeinen Erörterungen über die Natur und die Verbreitung des 119
Lichtes bedürfen in der Regel keiner besondern Erläuterung durch Versuche. Nur wenige einzelne vorläufige Erläuterungen der Begriffe, Zurückwerfung, Brechung, Durchsichtigkeit u. s. w. werden durch Beispiele erläutert.

Die Zurückwerfung zeigt sich am besten in einem dunkeln Zimmer mit einem beliebigen Stücke eines ebenen Spiegels, da man hier den Weg der Lichtstrahlen an den in der Luft schwebenden erleuchteten Staubtheilchen erkennen kann.

Die Brechung weis't man an dem Beispiele des Uebergangs aus Wasser in Luft nach, indem man auf den Boden eines Gefäßes, vv' Fig. 175, mit undurchsichtigen Wänden eine Silbermünze so legt, daß sie dem Auge in o gerade noch durch die Wand v' verdeckt wird und nun Wasser in das Gefäß gießen läßt, worauf die Münze dem unverrückt in o gebliebenen Auge wieder sichtbar wird.

Fig. 175.



Die Durchsichtigkeit der Körper in dünnen Lamellen wird am einfachsten am Golde erläutert. Man läßt hiefür ein etwa 1—2 Quadratzoll großes Stück Spiegelglas vom Buchbinder mit dem dünnsten Golde belegen und deckt das Gold durch ein zweites gleich großes Spiegelglas. Beide Gläser werden durch ein Streifchen Papier zusammengeleimt. Will man das Gold selbst auftragen — Blattgold hat man doch auch zu andern Zwecken nöthig —, so legt man nur das behauchte Glas darauf und schneidet das übrige Gold mit einem scharfen, auf Leder wohl gereinigten Messer mehr drückend als ziehend ab.

Das Gesetz der Abnahme des Lichtes mit der Entfernung bedarf keiner Nachweisung durch Versuche und läßt sich auch kaum annähernd dadurch nachweisen, daß man die Helligkeit von vier gleichen, nahe zusam-

mengehaltenen Kerzen in der Entfernung 2 mit der Helligkeit einer gleichen Kerze in der Entfernung 1 vergleicht, wozu der Photometer dient.

120 **Der Photometer.** Unter den verschiedenen Mitteln, die Stärke zweier Lichtquellen zu vergleichen, sind die zugänglichsten der Photometer von Ritchie und die Vergleichung der Tiefe des Schattens. Der Photometer von Ritchie besteht in einem länglichen, geschwärzt.n Kästchen, *AB AB*, Fig 176, dessen beide Enden halbkreisförmige Oeffnungen haben, durch welche das Licht auf das genau in der Mitte befindliche rechtwinklichte hölzerne, mit weißem Papier bezogene Prisma *C* fällt und dasselbe von beiden Seiten beleuchtet. In der Seite *B B* ist eine kreisrunde Oeffnung von etwa $^2/_3$ der Breite dieser Seite so angebracht, daß die rechtwinklichte Kante des Prismas *C* als Durchmesser der Oeffnung erscheint, und über der Oeffnung befindet sich eine kurze vierkantige oder runde, innen ebenfalls geschwärzte Röhre *D* zur Abhaltung von fremdem Licht; sie hat aber eine kleinere Oeffnung für das Auge. Der Apparat kann mittelst des Stieles *E* in eine der Hülsen *p* des beim Concavspiegel beschriebenen Balkens, oder auch in das kleine Stativ, Fig 177, gesteckt werden. Solcher Stative bedarf man ohnehin einiger, sowie man auch einige größere, auf drei Füßen stehende, in welchen sich ein kleines Tischchen befestigen läßt, Fig. 178 (a. f. S.), zu mancherlei Versuchen nöthig hat.

Fig. 176.

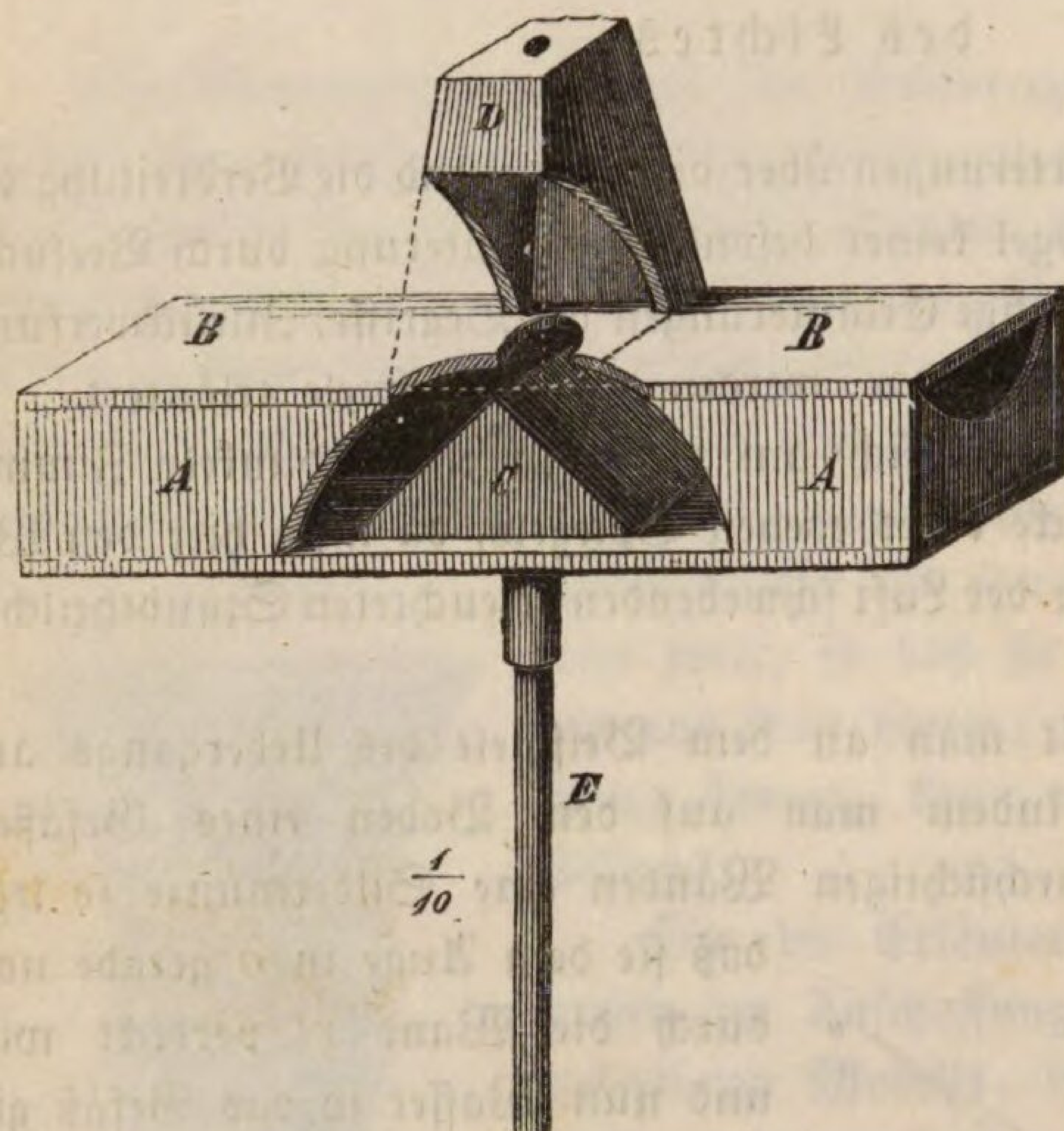
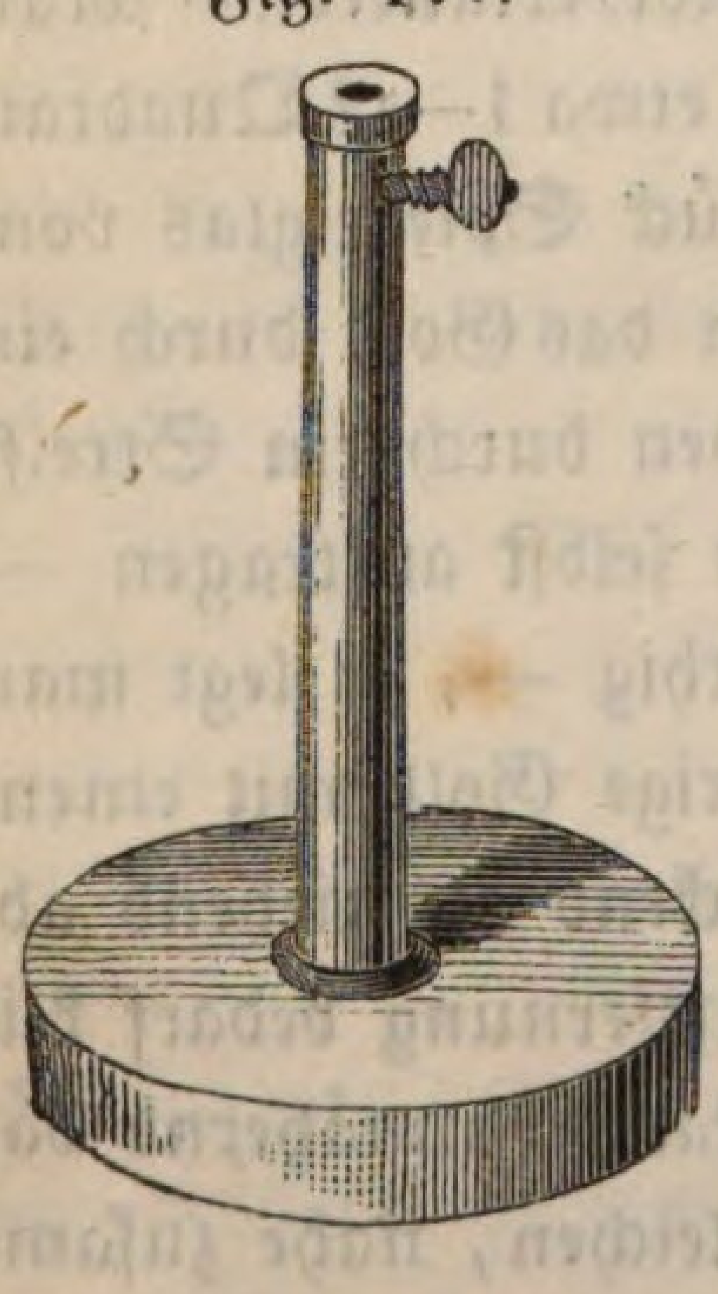


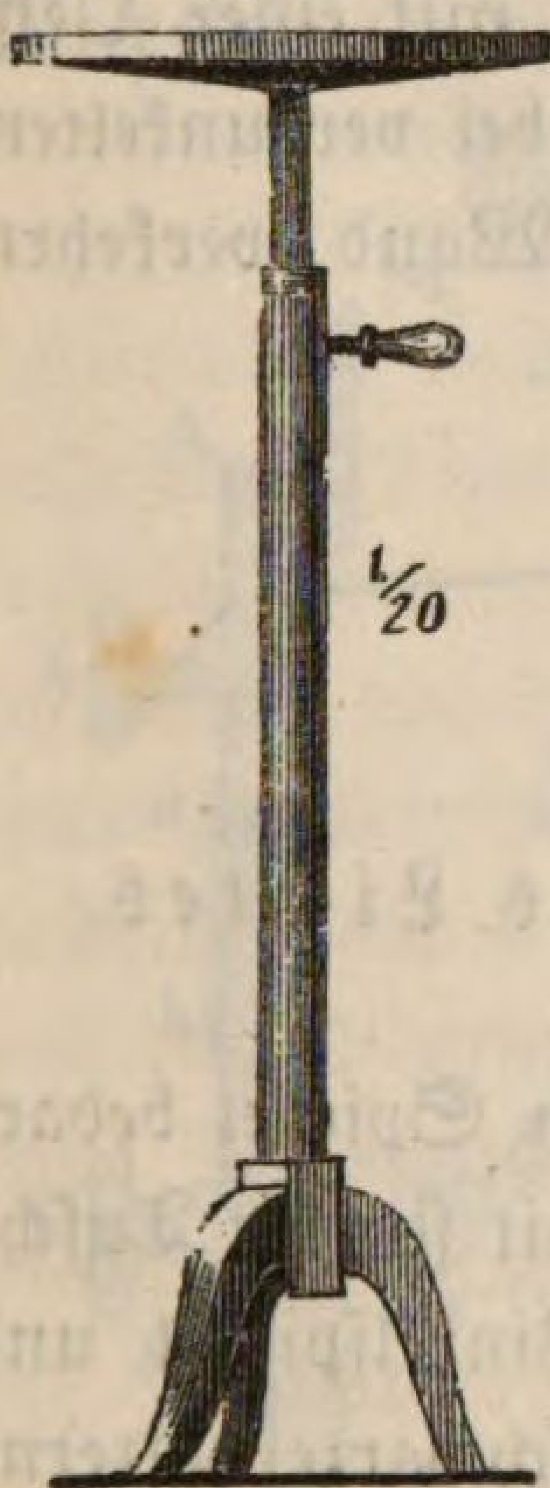
Fig. 177.



Soll die Stärke zweier Lichtquellen verglichen werden, so bringt man sie und den Photometer auf gleiche Höhe, entfernt sie sodann auf 20—30 Fuß von einander und stellt den Photometer in die gerade Linie zwischen beiden. Man beobachtet nun durch die Oeffnung der Röhre *D* die Beleuchtung der beiden Seiten des Prisma *C* und rückt den Photometer

so lange, bis die Beleuchtung beider gleich stark ist. Man muß sich dabei hüten, nach den beiden Lichtquellen zu sehen, wenigstens verzögert dieses die Arbeit, indem das Auge wieder einiger Ruhe bedarf, um die gehörige Empfindlichkeit für schwache Lichtdifferenzen zu erlangen. Beobachtet man aber diese Vorsicht, so wird man die richtige Stellung des Photometers bei den angeführten Entfernungen bis auf 4 — 5 Zolle genau auszumitteln vermögen. Am schwierigsten ist dieses, und am unsichersten, wenn die beiden Lichter nicht einerlei Farbe haben, wenn z. B. das Licht einer mit recht weißer Flamme brennenden Lampe mit dem einer Wachskerze verglichen werden soll, welches immer etwas gelblicht ist.

Fig. 178.



Wenn man mehrere Lichtquellen zu vergleichen hat, so wird die Arbeit dadurch sehr gefördert, daß man eine gut brennende stets gleiches Licht gebende Lampe in unveränderter Entfernung als Vergleichungspunkt nimmt, und durch einen Gehülfen die Stellung der andern Lichter ändern läßt, bis die Beleuchtung beiderseits am Prisma gleich ist. Hierzu ist eine Uhrlampe besonders geeignet, und kann um so eher dazu verwendet werden, als sie allmälig in sehr vielen Gasthöfen eingeführt ist; erst in Ermangelung einer solchen nimmt man eine gewöhnliche Lampe mit doppeltem Luftzuge.

Will man die Stärke zweier Lichtquellen dadurch vergleichen, daß man sie so lange verrückt, bis der Schatten desselben Körpers für beide Lichter derselbe ist, so bedarf man allerdings keines besonderen Apparates, denn ein etwa halbzolldickes Stäbchen und eine weiße Wand hat man überall; allein man erreicht nicht denselben Grad von Genauigkeit, da das Auge gerade durch die von beiden Lichtern erhellte weiße Wand für geringere Unterschiede weniger empfindlich wird, und erst eine größere Aenderung der Stellung eines Lichtes von dem Beobachter bemerkt wird. Man muß sich bei ähnlichen Versuchen stets auch darüber versichern, in wie weit man überhaupt Genauigkeit erreichen kann. Es geschieht hier sehr einfach dadurch, daß ein anderer mitunter das Licht verrückt, ohne daß der Beobachter es weiß.

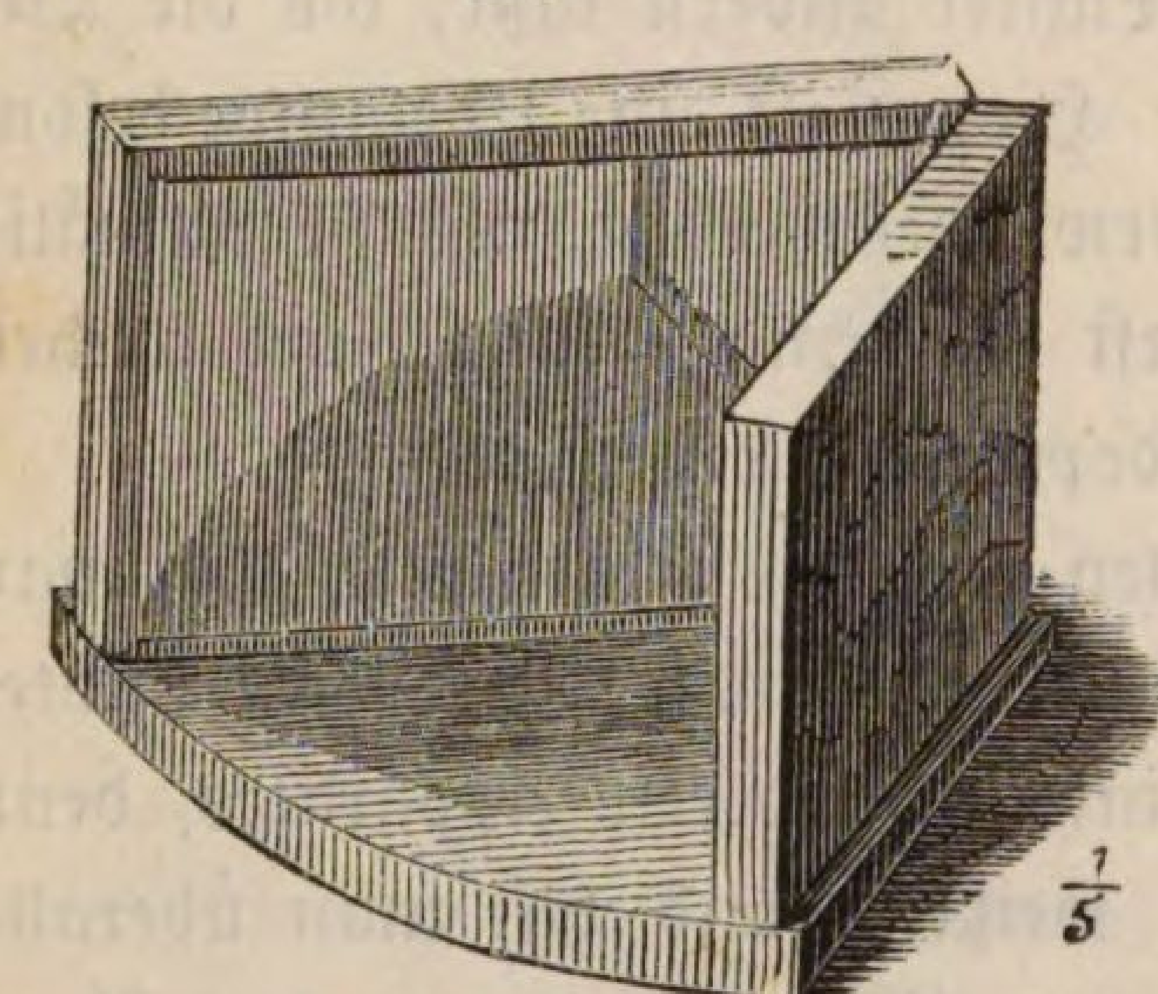
Schatten und Halbschatten. Am allereinfachsten zeigt man den 121
Unterschied beider an einer im Sonnenlichte aufgehängten Kugel von $\frac{1}{2}$—1 Zoll Durchmesser, deren Schatten auf weißem Papiere in verschiedenen Entfernungen aufgefangen wird. Auch unter einer Lampe mit seitlichem Oelbehälter, kreisrundem Schirme und kreisrundem Tropfgefäße erhält man unter letzterem Schatten und Halbschatten sehr schön.

122 Zu diesem Theile gehört auch die Erscheinung der Camera clara. Es bedarf die Darstellung derselben keines besonderen Apparates, da man nur in das für den Heliostat bestimmte Brett einen Schieber mit einer Oeffnung von etwa einem halben Zolle einführen darf, um bei verdunkeltem Zimmer auf der dem Fenster gegenüber befindlichen Wand verkehrte Bilder der außerhalb befindlichen Gegenstände zu erhalten.

B. Versuche über die Zurückwerfung des Lichtes.

123 **Ebene Spiegel.** Außer einem gewöhnlichen ebenen Spiegel bedarf man auch eines Stückes Spiegelglas, welches rückwärts mit starker Tusche geschwärzt ist, zur Vergleichung mit jenem, nebst einem Winkelspiegel und zwei parallel stehenden Spiegeln. Letztere beide werden in schwarze hölzerne Fassungen gebracht und der Winkelspiegel erhält gewöhnlich 60°, Fig. 179.

Fig. 179.



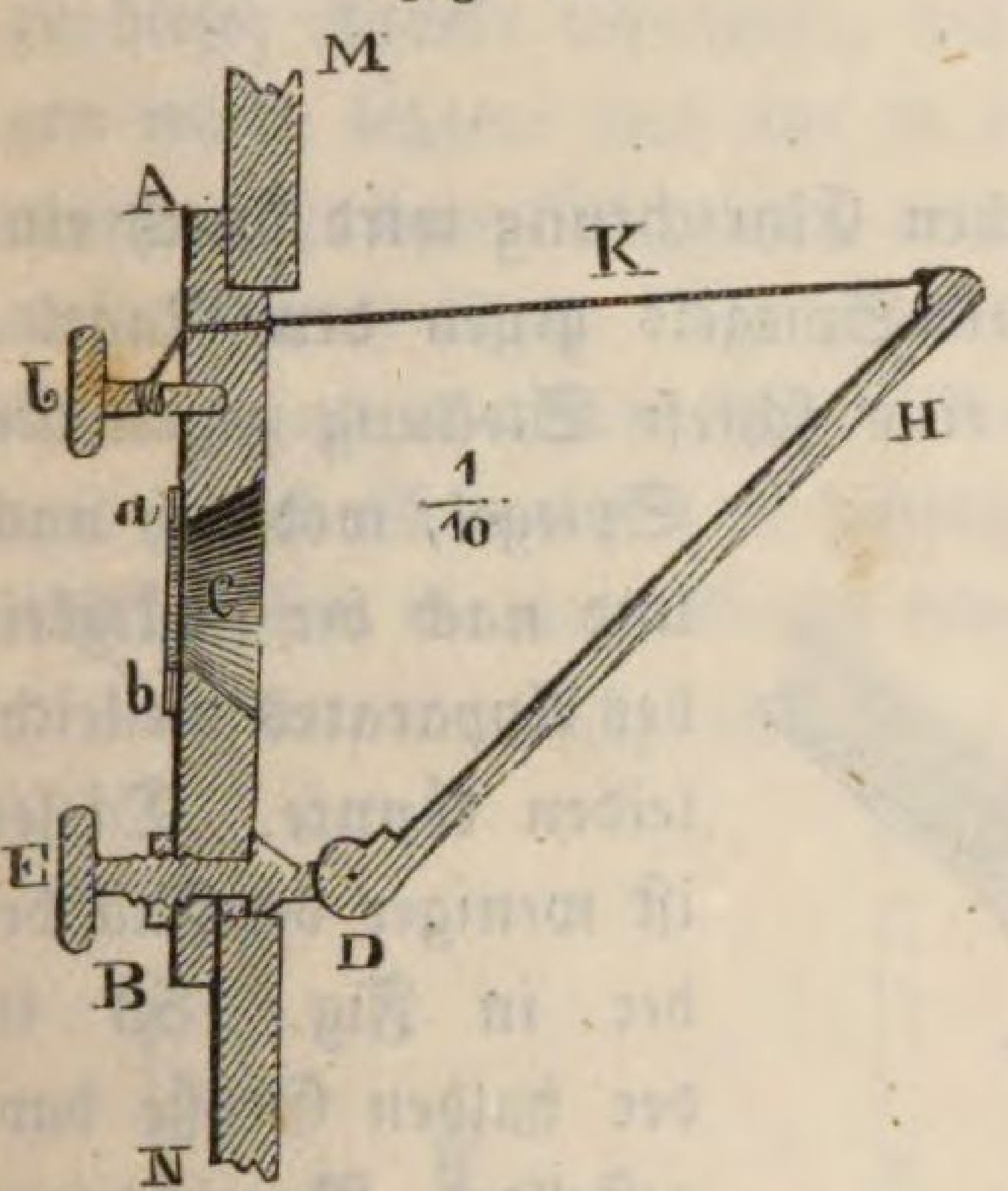
1/5

Noch zweckmäßiger ist es, wenn die beiden Spiegel nur durch ein Gelenkband verbunden sind, wo man dieselben dann in einem beliebigen Winkel stellen kann. Als Gegenstand nimmt man irgend einen glänzenden Körper oder ein Stückchen einer Wachskerze, welches zwischen die Spiegel so gestellt wird, daß es etwa vor der Mitte derselben steht. Zur Ergänzung gehört noch ein Kaleidoskop, welches man bei jedem Händler mit optischen Waaren, oder auch im Spielzeugladen um wenige Groschen erhalten kann.

124 **Der Heliostat.** Der Heliostat ist sowohl für den Unterricht als für die Weiterbildung des Physikers eines der unentbehrlicheren Werkzeuge, und man wird daher sobald daran denken, sich einen solchen zu verschaffen, als man ein bleibendes Local erworben hat; es kann dieses um so eher geschehen, als er in seiner einfachsten Gestalt nur sehr wenig kostet. Daß schon bei der Auswahl der Lehrzimmer für die einzelnen Curse darauf Rücksicht genommen werden muß, daß dasjenige, in welchem Optik zu lehren ist, die erforderlich sonnige Lage habe, und ebenso aber auch mit gehörig schließenden Läden versehen werde, ist bereits im ersten Abschnitte erörtert. Das Gleiche gilt von dem Zimmer, in welchem die Lehrapparate aufbewahrt werden, damit daselbst die Versuche gehörig vorbereitet werden

können und der Lehrer Gelegenheit für seine Weiterbildung habe. Freilich fällt die Vorsicht für das letztere Local da weg, wo für den physikalischen Unterricht ein eigenes Lehrzimmer vorhanden ist.

Fig. 180.

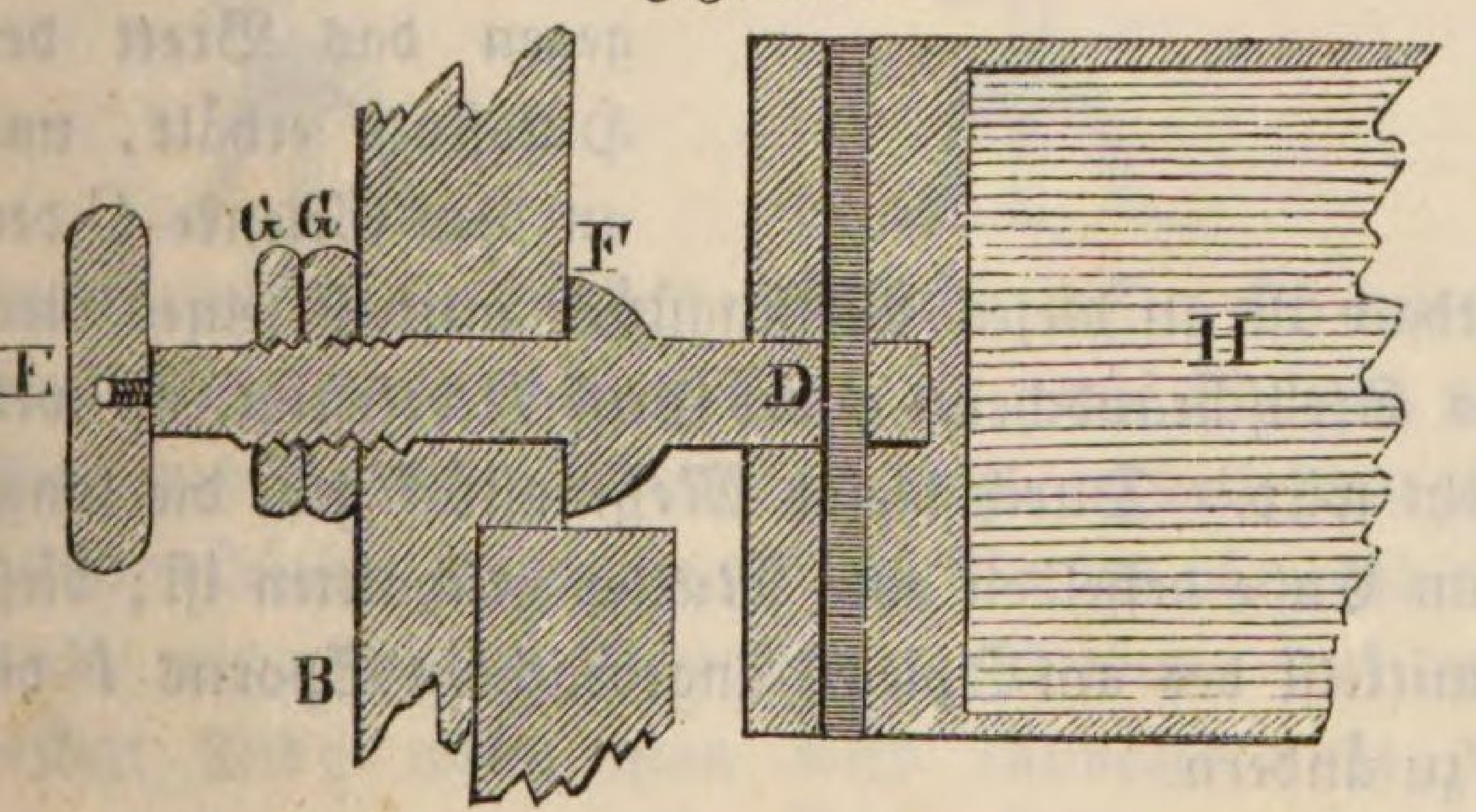


In seiner einfachsten Form besteht nun der Heliostat aus einem viereckigen mit breitem Falze versehenen Brette *AB*, Fig. 180, von hartem Holze, welches in einen Ausschnitt des Ladens *MN* paßt, und darin durch zwei Flügelschrauben, wie Fig. 181, erhalten wird. In der Mitte hat dieses Brett eine konische Oeffnung *C*, die innerhalb durch ein dickes Messingblech *a b* geht, welches ein Gewinde hat, um verschiedene Ansätze einzuschrauben. Anstatt des Messingbleches kann auch eine kurze Röhre aus Holz oder Pappe angebracht werden, über und in welche die verschiedenen Apparate aufgesteckt werden können. Außerhalb befindet sich ein schmaler langer Spiegel in einer hölzernen Fassung, welcher durch ein einfaches Gelenk *D* mit dem hölzernen Nagel *DE* verbunden ist. Fig. 182 zeigt diesen Theil in größerm Maaßstabe. Der Nagel *DE* hat bei *F* einen Anhalt und kann mittelst der beiden Muttern *G G*, wovon die eine zum Versichern der andern dient, in dem Brette *AB* beliebig festgestellt werden, so daß er die nöthige Reibung erhält, um durch den Zug des Spiegels *DA* nicht gedreht zu werden. Der Knopf *E* wird erst aufgeleimt, wenn alles an Ort und Stelle ist. Mittelst der Schnur *K*, welche durch eine glatte Oeffnung des Brettes *AB* geht, und um den durch Reibung feststehenden Nagel *l* geschlungen ist, erhält der Spiegel eine beliebige Neigung gegen die Drehungsaxe *DE*.

Fig. 181.



Fig. 182.

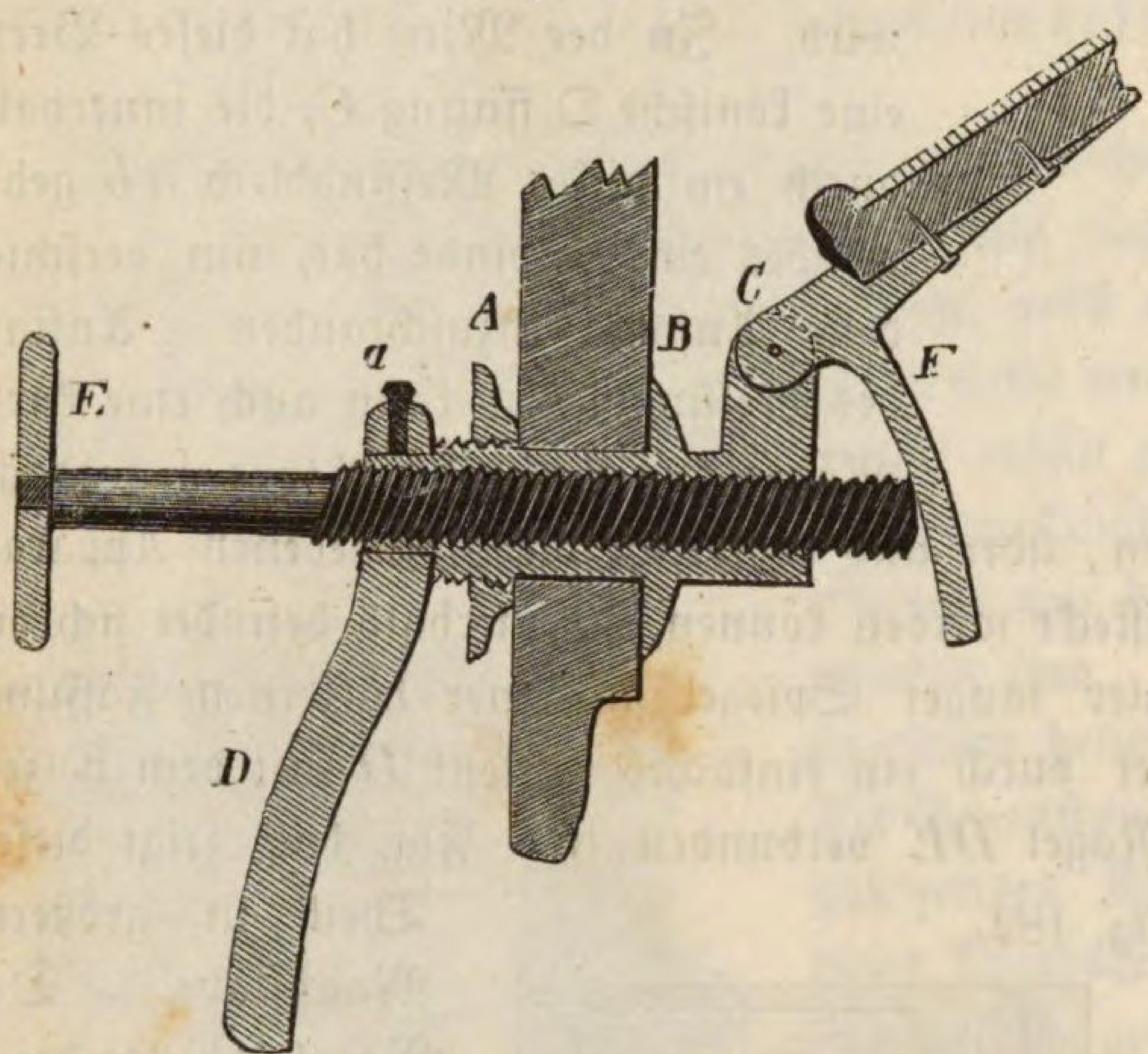


Bei der Wahl des Spiegels muß man darauf sehen, daß derselbe aus sehr reinem und dünnem Glase besteht, damit man nicht mehr als

zwei Bilder, und diese möglichst dicht über einander erhält. Die Breite des Spiegels braucht nur wenig mehr, als die Breite der Oeffnung *C* zu betragen, allein von seiner Länge hängt es ab, wie lange es möglich ist, bei niedrigem Stande der Sonne die Strahlen noch horizontal durch die Oeffnung *C* zu bringen.

Bei dieser soeben angegebenen einfachen Einrichtung wird durch eine Drehung des Nagels *E* die Stellung des Spiegels gegen den Nagel *I* verändert, und die Schnur *K* bekommt eine schiefe Stellung gegen den Spiegel, wodurch nach und nach die Festigkeit des Apparates vielleicht leiden könnte. Dieses ist weniger der Fall bei der in Fig. 183 in der halben Größe dargestellten Vorrichtung. Hier ist der Spiegel durch ein rundes Stück Messing getragen, welches durch den Ansatz *B* und die Schraube *A* die gehörige Reibung gegen das Brett des Hiliostats erhält, und an dem Gelenke *C* den Spiegel trägt. Innerhalb ist an dieses Messingstück mittelst eines viereckigen Zapfens und des Stellschräubchens *a* der Griff *D* befestigt, an welchem der Spiegel gedreht wird. Durch dieses Messingstück geht die lange Schraube *E*, für die am Ende desselben eine Mutter geschnitten ist; diese Schraube dient dazu, mittelst des am Spiegel angebrachten Sporns *F* die Neigung des Spiegels zu ändern.

Fig. 183.



Bei keiner der beschriebenen Einrichtungen kann der Apparat sehr viel kosten und reicht zu allen Versuchen aus; die Mühe darf man dabei freilich nicht scheuen, die beiden Nägel *E* und *I* fleißig zu handhaben, wenn der Sonnenstrahl dieselbe Richtung behalten soll; man erreicht aber die dazu erforderliche Uebung sehr bald; sie muß aber auch erlangt werden, wenn der Spiegel durch Zahn und Getriebe regulirt wird. Eigentliche Heliostate mit Uhrwerk sind noch immer sehr kostbare Apparate, wenn dieselben auch in neuerer Zeit sehr vereinfacht wurden.

Versuche mit dem Hohlspiegel. Für diese, so wie für viele andere Versuche in diesem Abschnitte, ist ein hölzernes Gestell wie Fig. 184 sehr zweckmäßig; *AB* ist ein schwacher gerader 12—15 Fuß langer Balken aus Tannenholz (ein halber Rahmenschenkel oder besser zwei Brettstückchen zu dieser Stärke verleimt), der von zwei dreifüßigen Stützen *MM* getragen wird; letztere sind nur in passende Löcher des Balkens gesteckt, so daß man nach dem Gebrauche das Gestelle auseinander nehmen und getrennt aufbewahren kann. Der Balken ist seiner ganzen Länge nach in Zolle getheilt, und es lassen sich an ihm Hülsen *P, P*, wie Fig. 185, verschieben und durch Schrauben *S* beliebig feststellen; auch diese Hülsen sind getheilt und messen in ihrer Breite eine ganze Anzahl Zolle. In einer Röhre *R*, 125

Fig. 184.

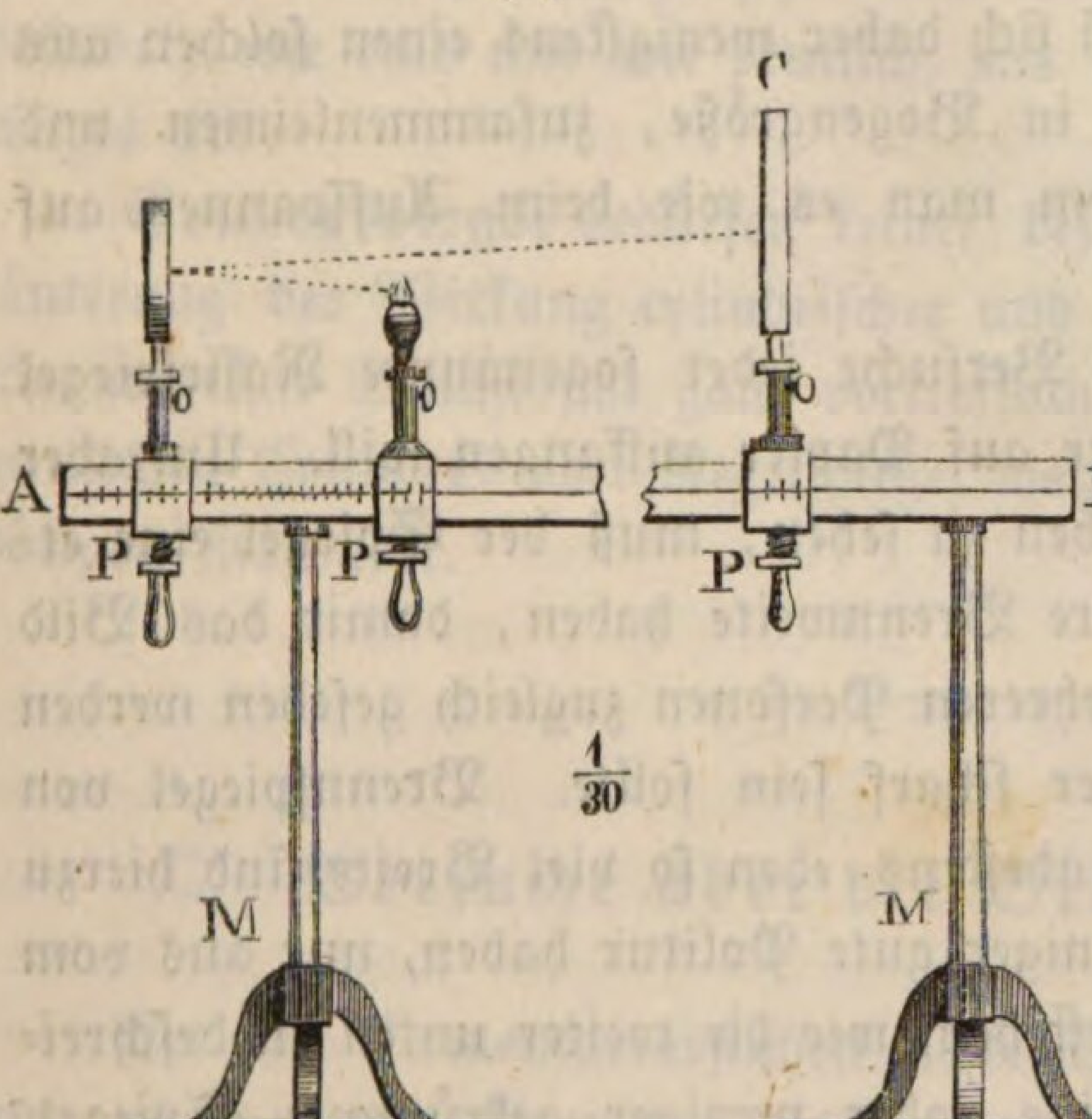


Fig. 185.

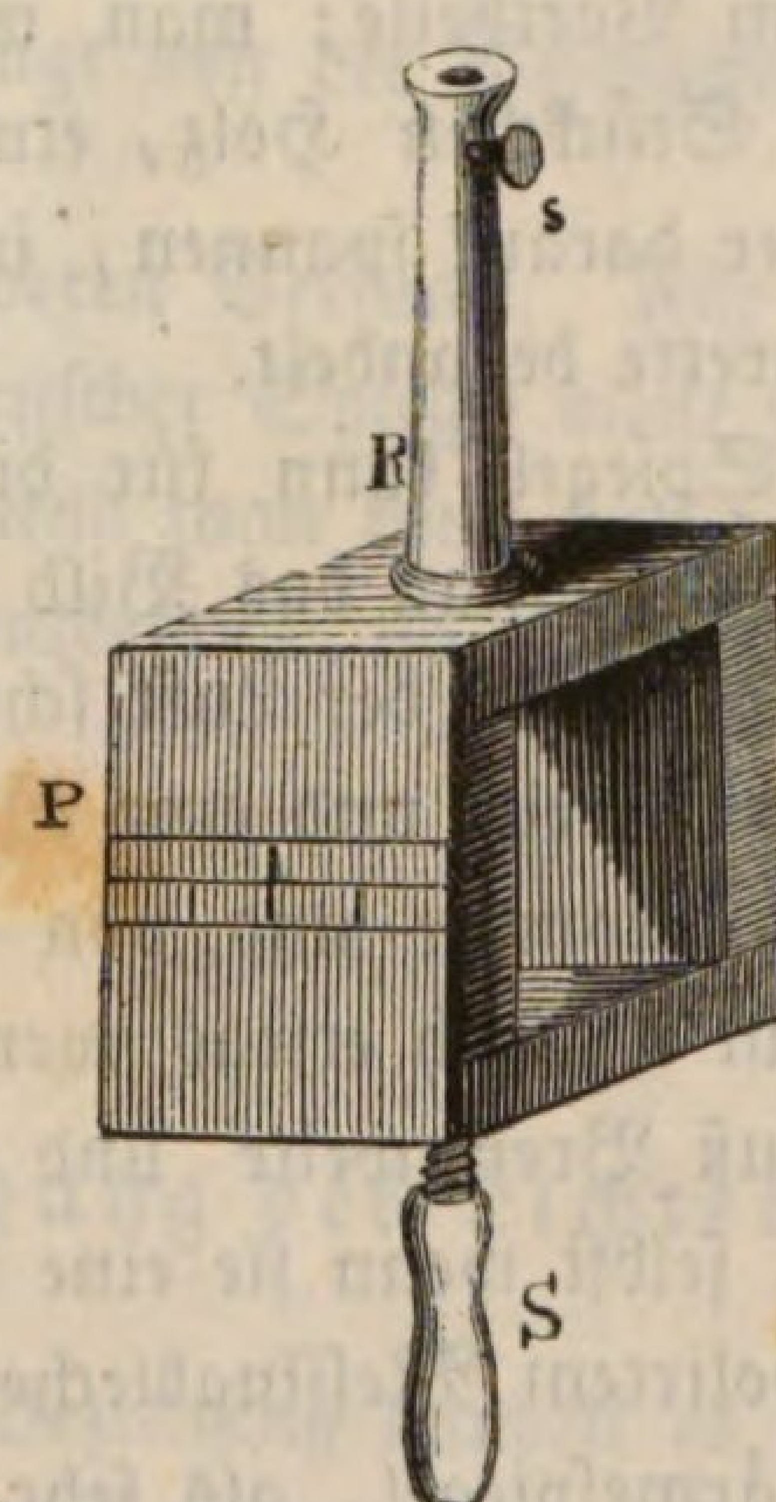


Fig 186.



welche auf dieser Hülse befestigt ist, lassen sich mittelst der kleinen Schrauben *s* die verschiedenen Apparate, wie Spiegel, größere Linsengläser, mit Papier bespannte Rahmen u. dergl. in beliebiger Höhe feststellen. Statt solcher Hülsen könnte man dem Balken oberhalb eine Nuth geben und in dieser eingeschleifte Brettchen verschieben, auf welche die Röhren *R* befestigt sind; allein man wird entweder nicht den gleich festen Stand oder nicht die gleich leichte Beweglichkeit erhalten, wie auf die angegebene Weise. Als leuchtender Gegenstand dient am besten die Flamme einer kleinen Oellampe von Glas, *A* Fig. 186, deren kurzer Glasstiel in einen längern hölzernen gefaßt wird, um sie bequem auf einer der Hülsen *P* befestigen zu können. Der hölzerne mit weißem Papier bespannte Rahmen wird so groß genommen, als nach einem vorläufigen Versuche erforderlich ist, um das ganze Bild der Flamme aufzunehmen, wenn dieses für den vorhandenen Spiegel und die Länge des Balkens die größte Ausdehnung erlangt hat.

Für jene Stellung, wo das Bild zwischen Gegenstand und Spiegel liegt, befestigt man ein kleines, nur etwa einen halben Zoll breites und einen Zoll hohes Stückchen Papier an einen Drahtstiel, der um die halbe Spiegelbreite rechtwinklicht zum Balken seitwärts gebogen ist. Der Spiegel muß dann entsprechend gedreht werden, damit das Bildchen außerhalb der geraden Linie des Balkens falle und dem Spiegel durch das kleine Papier nur wenig Licht entzogen werde. Anstatt hier, sowie in einer Reihe anderer Versuche, Rahmen anzuwenden, welche mit weißem Papiere bespannt sind, kann man auch Rahmen mit Strohpapier beziehen; es läßt sich aufspannen wie anderes Papier, und gewährt den Vortheil, daß man das darauf geworfene Bild, wenn gleich weniger glänzend, von beiden Seiten sehen kann. Für viele Zwecke sind aber solche Rahmen von ausgezeichnetem Vortheile; man muß sich daher wenigstens einen solchen aus ein Paar Stückchen Holz, etwa in Bogengröße, zusammenleimen und Strohpapier darauf spannen, indem man es wie beim Aufspannen auf dem Reißbrette behandelt.

Als Spiegel kann für diese Versuche jeder sogenannte Rasirspiegel dienen, so lange man das Bild nur auf Papier auffangen will. Um aber das Luftbild frei in der Luft schweben zu sehen, muß der Spiegel eine etwas größere Breite und eine kürzere Brennweite haben, damit das Bild mehr Licht bekomme und von mehreren Personen zugleich gesehen werden könne, wenn es auch etwas weniger scharf sein sollte. Brennspiegel von 1 — 2 Fuß Brennweite und mindestens eben so viel Breite sind hierzu geeigneter, selbst wenn sie eine weniger gute Politur haben, nur aus vom Blechner polirtem Messingbleche bestehen, wie die weiter unten zu beschreibenden Wärmespiegel, als sehr reine, aber weniger gekrümmte Spiegel. Bei einem Rasirspiegel von 3 — 4 Zoll Breite geht der Versuch zwar auch, allein das Luftbild wird kaum mehr als einer Person sichtbar; nur wenn es sehr klein ist, also der Gegenstand weiter vom Spiegel absteht, sieht man dasselbe gut, aber man täuscht sich über den Ort, und versetzt es hinter den Spiegel. Sein freies Heraustreten aus dem Spiegel, eine wirkliche Täuschung auch für den geübten Zuschauer, erfordert durchaus einen etwas größeren Spiegel und kurze Brennweite.

Als Gegenstand dient für solche Versuche eine Kerzenflamme sehr gut; gewöhnlich wählt man aber einen künstlichen Blumenstrauß von etwas lebhaften Farben, den man unter günstiger Beleuchtung so aufstellt, daß er von den Zuschauern nicht gesehen werden kann. Man kann dann sogar an den Ort des Bildes ein Glas mit Wasser stellen, in welchem der Blumenstrauß zu stehen scheint. Für Spiegel mit weniger starker Krümmung ist der vom Luftbilde ausfahrende Strahlenkegel zu enge, als daß zwei oder mehr Personen zugleich das Bild sehen könnten; allein man

kann jeder einzeln seine Existenz dadurch sehr gut zeigen, wenn man ihr die Stellung anweiset, in welcher sie das Luftbild ihrer eigenen ausgestreckten Hand sehen kann. Man kann hierbei die Stellung so wählen, daß die Person ihre eigene, vor den Augen ausgestreckte Hand fassen zu können glaubt. Für die spätere Betrachtung zusammengesetzter Instrumente ist es sehr wichtig, daß man einen sicheren Begriff von der von der weißen Wand unabhängigen Existenz dieses Luftbildes habe, wozu eben die Spiegel geeigneter sind als die Convexgläser.

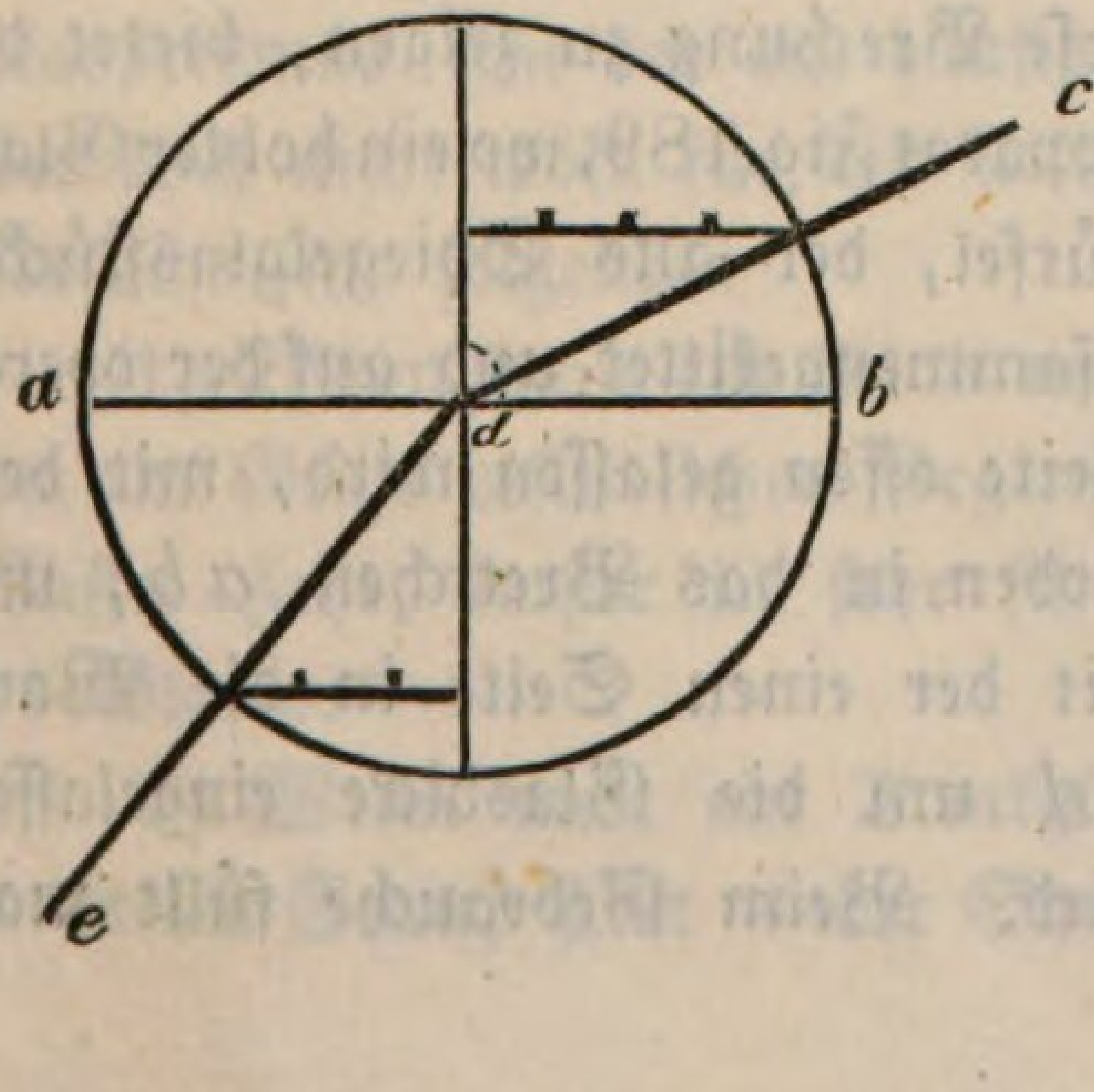
Was nun das Bild hinter dem Spiegel betrifft, so muß man beim Versuche nicht erwarten, daß dasselbe erst gesehen werde, wenn die Strahlen divergirend werden; man sieht den Gegenstand schon hinter dem Spiegel, wenn er sich noch zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte befindet; wie bald und wie deutlich, das hängt von der Beschaffenheit des Auges ab.

Convexspiegel bedürfen keiner besonderen Versuche. Für die Er- 126
läuterung der Wirkung cylindrischer und konischer Spiegel dient jede reine schwarzgrüne Weinflasche ganz vortrefflich, und man kann daher einen eigentlichen Cylinder- oder Kegelspiegel wohl entbehren, so wie die dazu gehörigen Zerrbilder.

C. Versuche über die Brechung des Lichtes.

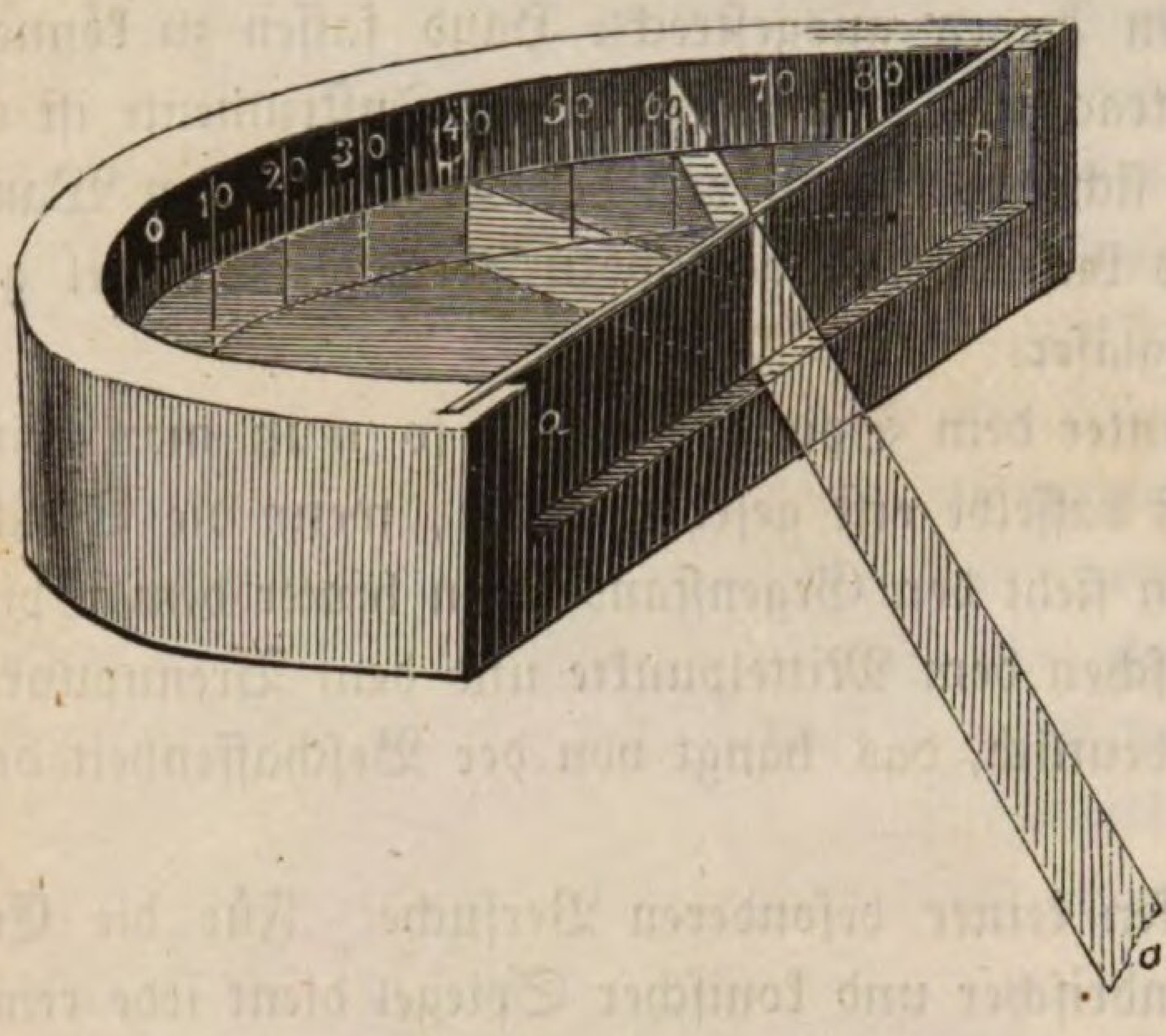
Bei den Elementarversuchen in dieser Beziehung handelt es sich dar- 127
um, ob man vor allem nur das Factum der Brechung an sich nachweisen oder durch eine und die andere Messung das Brechungsgesetz erläutern will. Im ersten Falle genügt nämlich ein in Wasser gesteckter Stab oder ein Lichtstrahl, den man im dunkeln Zimmer durch Staub sichtbar macht und ihn dann auf getrübtes Wasser fallen läßt; im zweiten Falle aber kann man verschiedene Werkzeuge anwenden. Sehr einfach, aber nur für einen Fall passend, ist das Verfahren, den Weg des einfallenden und gebrochenen Lichtstrahls auf ein Stück weiß angestrichenes Blech oder stark gefirnißtes Papier mit starken schwarzen Linien aufzuzeichnen, und dabei das Brechungsverhältniß aus Luft in Wasser zu beobachten; steckt man das Blech mit der Zeichnung Fig. 187 bis $a\,b$ in Wasser, so erscheint die Linie $c\,d\,e$ gerade.

Fig. 187.



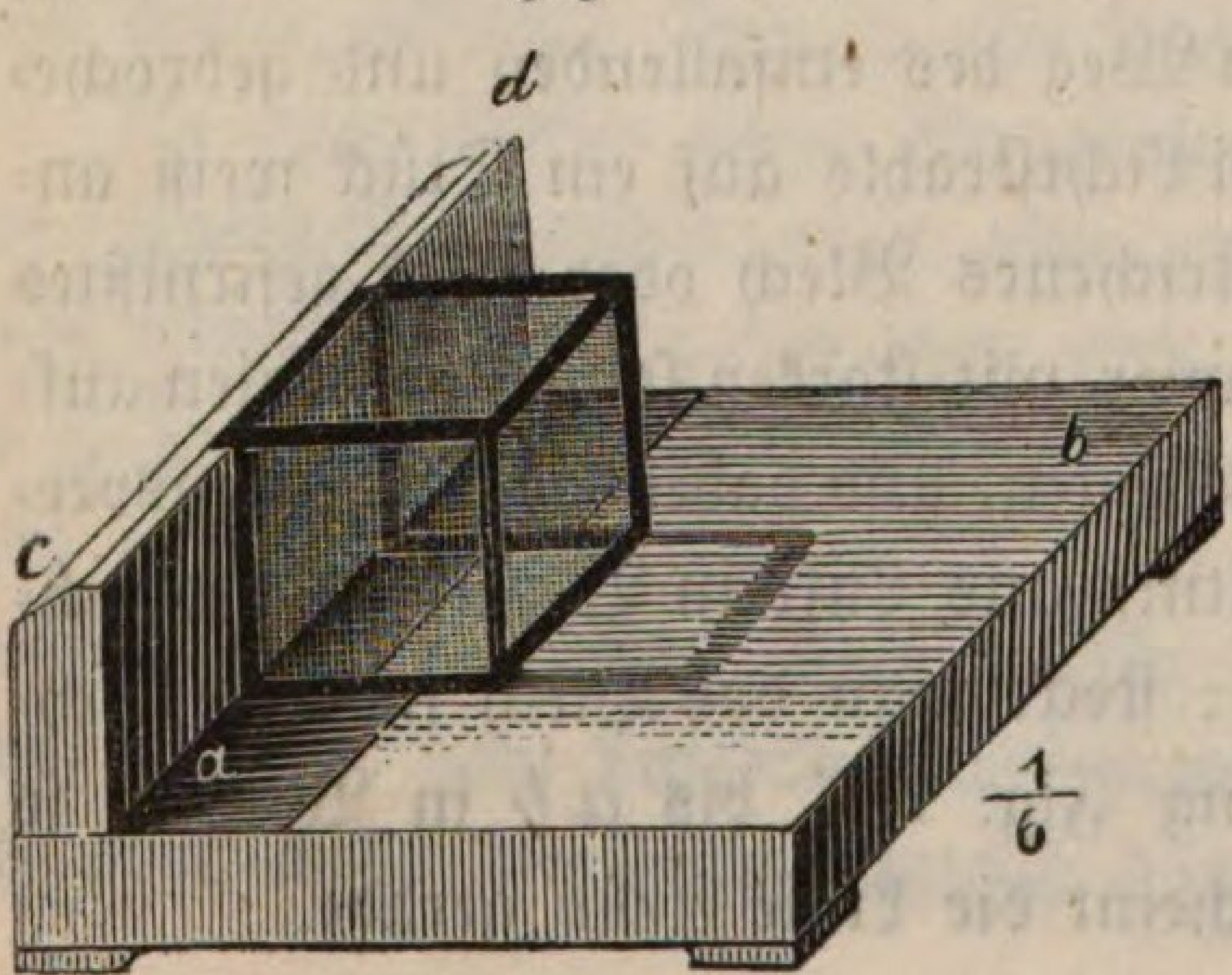
Das in Fig. 188 abgebildete Instrument ist geeignet, die Einfallswinkel und Brechungswinkel für verschiedene Flüssigkeiten zu messen, je nach dem Materiale, aus dem es gefertigt wird. Wählt man ganz einfach für den gebogenen Theil und den Boden Holz, und leimt die vorher auf Papier aufgetragene Gradeintheilung hinein, so wird der ganze Apparat am besten mit Copalfirniß überzogen, und kann dann freilich nur zu Wasser gebraucht werden. Die gerade Glaswand *a b* besteht aus einem Spiegelstücke,

Fig. 188.



und ist mit Stanniol belegt, weil sich hierin die in der Mitte befindliche vertikale Spalte sehr schön und gerade einschneiden läßt, während dadurch der übrige Theil undurchsichtig wird. Das Glas ist mittelst Glaserkitt auf den drei nicht freien Seiten in eine Fuge eingekittet. Beim Gebrauche stellt man den Apparat auf den Tisch, füllt ihn zur Hälfte mit Wasser und stellt in einiger Entfernung davon eine Kerzenflamme auf. Das oberhalb des Wassers einfallende Licht mißt auf der Theilung den Einfallswinkel, das durch das Wasser gegangene den Brechungswinkel, und man kann nun durch zwei oder drei Fälle zeigen, daß ihre Sinus wirklich in constanten Verhältnissen stehen, wenn man sich überhaupt so weit einlassen kann. Ist letzteres nicht der Fall, so dient der Apparat sehr gut dazu, die Brechung zu zeigen, und wenigstens darauf aufmerksam zu machen, daß die Differenz zwischen beiden Winkeln wächst mit der Größe des Einfallswinkels.

Fig. 189.



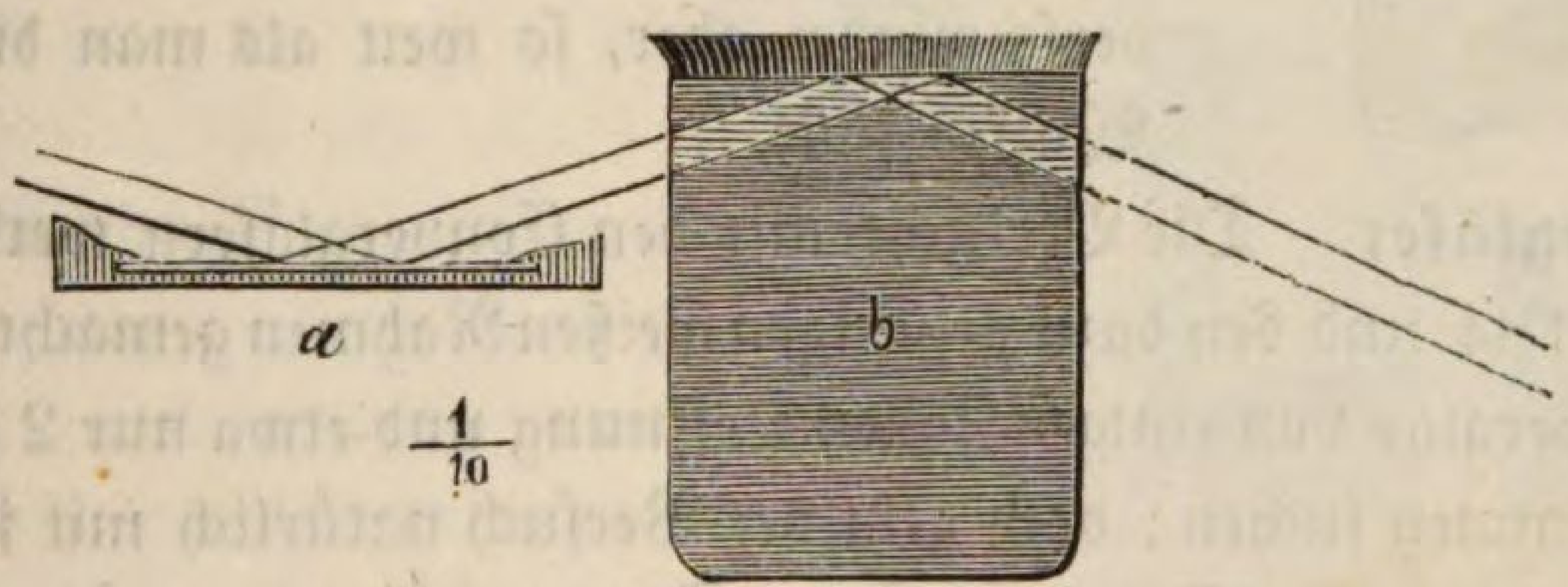
Eine andere sehr bequeme Weise, diese Brechung zu zeigen, bietet der Apparat Fig. 189, wo ein hohler Glaswürfel, der aus Spiegelglasstücken zusammengekittet und auf der oberen Seite offen gelassen wird, mit dem Boden in das Brettchen *a b*, und mit der einen Seite in die Wand *c d* um die Glasdicke eingelassen wird. Beim Gebrauche füllt man

denselben etwa zur Hälfte mit Wasser und stellt ihn so, daß die Sonnenstrahlen parallel mit den Seitenflächen des Würfels einfallen. Der Schatten im Wasser ist kürzer als der Schatten außerhalb.

Auch auf folgende Weise kann man im Dunkeln die Brechungserscheinung sehr gut zeigen. Man rührt Kreidepulver in einen etwas weiten Glascylinder ein, und läßt das Wasser etwa 24 Stunden ruhig stehen. Leitet man nun einen Sonnenstrahl auf die Oberfläche des Wassers, so sieht man seinen Weg in der Luft an den erleuchteten Staubtheilen und seinen Weg im Wasser an den erleuchteten Kreidetheilchen.

Totale Reflexion. Dasselbe Kreidewasser kann nun auch verwen- 128
det werden, um die totale Reflexion zu zeigen. Man leitet nämlich den Sonnenstrahl zuerst auf den ebenen Spiegel *a*, Fig. 190, so daß das re-

Fig. 190.



flectirte Licht zu der Oberfläche des Wassers im Gefäße die für totale Reflexion erforderliche Richtung hat. Man sieht hier den Weg der Lichtstrahlen im Wasser ebenfalls durch die erleuchteten Kreidetheilchen, und man bemerkt zugleich kein aus dem Wasser tretendes Licht an den Staubtheilchen oder der gegenüberstehenden Wand, was eintritt, wenn das Licht unter einem dazu geeigneten Winkel die Oberfläche des Wassers trifft. Dieser Versuch geht wohl auch mit einem etwa 4 Zoll weiten Gefäße, aber es ist doch rathsam, wenn möglich, ein doppelt so weites dazu zu nehmen, auch darf die Oeffnung am Heliostat nicht zu breit sein, $\frac{1}{2}$ Zoll ist genug.

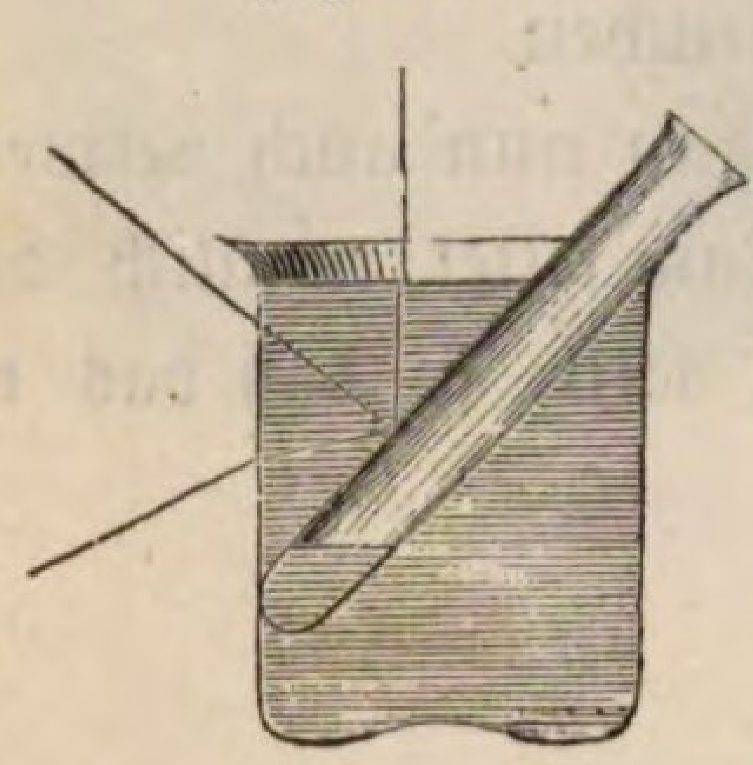
Unter den Erscheinungen, die sich nun aus der totalen Reflexion erklären, giebt es viele, die zur Erläuterung noch weiter beitragen. Unter diesen ist der Newton'sche blaue Bogen auf der unteren Fläche eines Glasprismas eine der am häufigsten hier angeführten Erscheinungen, ist aber doch nicht wohl für den Unterricht geeignet. Drei leicht anzustellende Versuche sind folgende:

1) Wenn man ein Glas mit Wasser füllt, so kann man keinen außen am Glase befindlichen Gegenstand sehen, wenn man von oben auf das Wasser sieht, außer in sehr schiefer Richtung und bei ziemlicher Weite des Glases.

2) Wenn man ein Trinkglas etwa zu $\frac{2}{3}$ mit aus weißem Zucker bereiteten Syrup füllt — der Syrup darf noch ziemlich dünnflüssig sein —

so kann man vorsichtig eine Wasserschichte darauf gießen, beinahe ohne daß sich die beiden Flüssigkeiten mit einander mischen. Dieses Aufgießen geschieht am einfachsten durch einen kleinen Löffel, den man bis an den Syrup bringt, ehe man das Wasser ausgießt. Klebt man nun auf das Glas unterhalb und nahe an die Gränzfläche beider Flüssigkeiten ein paar auf weißes Papier gezeichnete Buchstaben, so sieht man dieselben, wenn man von unten auf die Gränzfläche sieht, durch totale Reflexion doppelt.

Fig. 191.



3) Wenn man eine dünne Glasröhre von etwa einen halben Zoll Durchmesser einerseits zuschmilzt und, wie in Fig. 191, schief in ein mit Wasser gefülltes Glasgefäß hält, so erscheint sie dem von oben auf das Wasser sehenden Auge wie mit Quecksilber gefüllt; dieser Metallglanz verschwindet aber, so weit als man die Röhre mit Wasser füllt.

129 **Linsengläser.** Die Versuche mit den Convexgläsern werden auf dem Gestelle Fig. 184 und den dazu gehörigen weißen Rahmen gemacht. Man muß dazu ein Convexglas von einigen Zollen Oeffnung und etwa nur 2 Fuß Brennweite zu bekommen suchen; doch geht der Versuch natürlich mit jedem Glase, wenn auch weniger auffallend. Das Glas erhält eine hölzerne Fassung mit einem zu den Hülsen des Apparates passenden Stiele, und als Gegenstand dient wieder die Flamme der kleinen Lampe, die man nach und nach in die verschiedenen Entfernungen vom Glase bringt, und dabei jedesmal dem Rahmen die entsprechende Stellung giebt. Auch hier muß man nachher das eigentliche Luftbild ohne die weiße Wand zeigen und auf den Unterschied zwischen ihm und dem Bilde auf der weißen Wand aufmerksam machen. Eben so gilt auch hier die bei den Spiegeln gemachte Bemerkung, daß der Gegenstand schon eher hinter dem Glase aufrecht und vergrößert gesehen wird, als die Strahlen wirklich divergirend werden, was sonst leicht zu Mißverständnissen führen könnte. Die Versuche mit den Convexgläsern sind bequemer anzustellen als mit den Spiegeln, da hier Bild und Gegenstand auf verschiedenen Seiten sich befinden.

130 **Von den Prismen.** Die Theorie der Prismen geht allerdings jener der Linsengläser voraus, allein Versuche mit denselben können kaum eher gemacht werden, als bis die Lehre von der Zersetzung des Lichtes vorgetragen wird.

Bei der Anschaffung eines Prisma sehe man darauf, ein solches aus Flintglas mit genauem Schliff und einem brechenden Winkel von 50—60 Grad zu bekommen. Sie sind allerdings theuer; allein wenn ein solches Prisma auch nur 1 Centimeter Seite und nur 1 Centimeter Länge hat, so ist es für den Unterricht nützlicher, als die großen Glasstücke, die man

gewöhnlich doch auch mit 2—3 Fl. und mehr bezahlt. Man muß dasselbe unter der Bedingung kaufen, daß es zur Darstellung der Fraunhofer'schen Linien gebraucht werden könne. Die Aufstellung geschieht sehr einfach und zweckmäßig auf die in Fig. 192 dargestellte Weise. Das Prisma erhält auf der einen Grundfläche eine Fassung von Holz oder Messing, die in eine Schraube ausläuft; die Fassung wird mittelst einer Mutter *c* auf das etwas breite Ende des Armes *a b* befestigt, und der Arm *ab* ist durch ein Gelenk, dessen Nagel ebenfalls eine Schraube bildet, mit

Fig. 192.

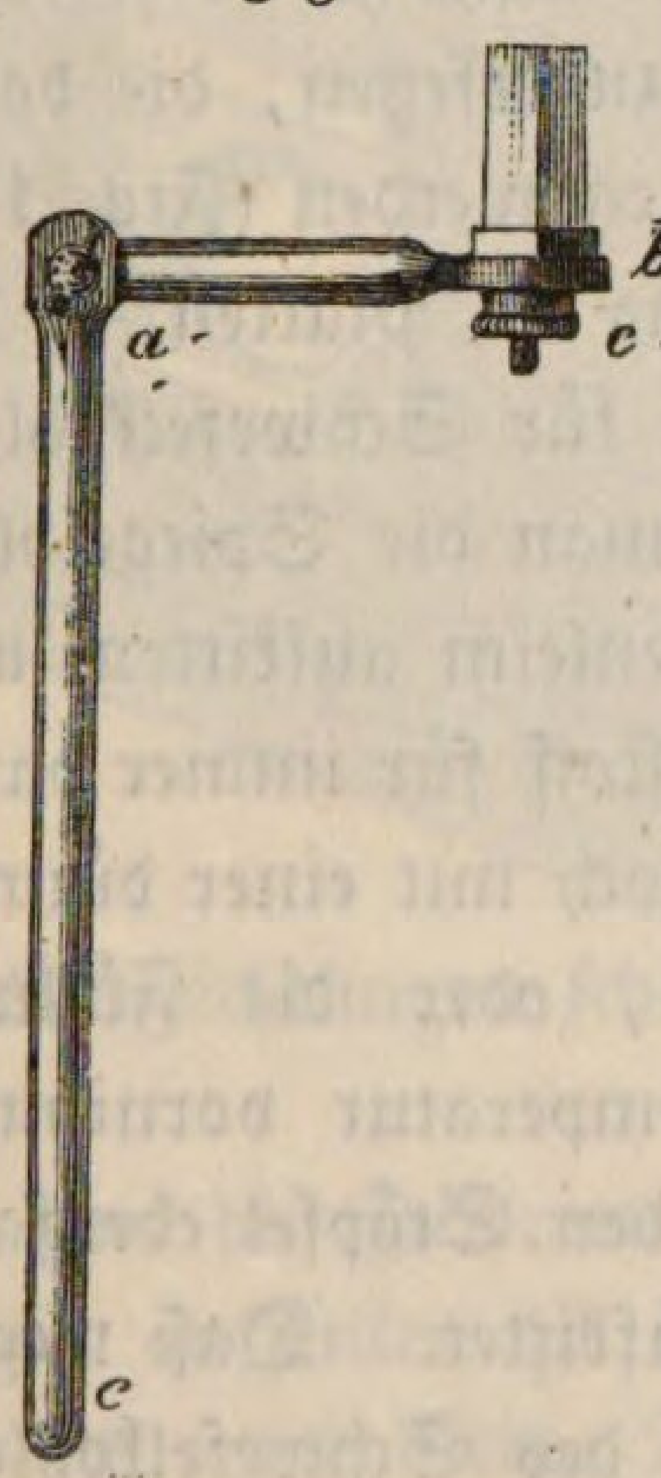
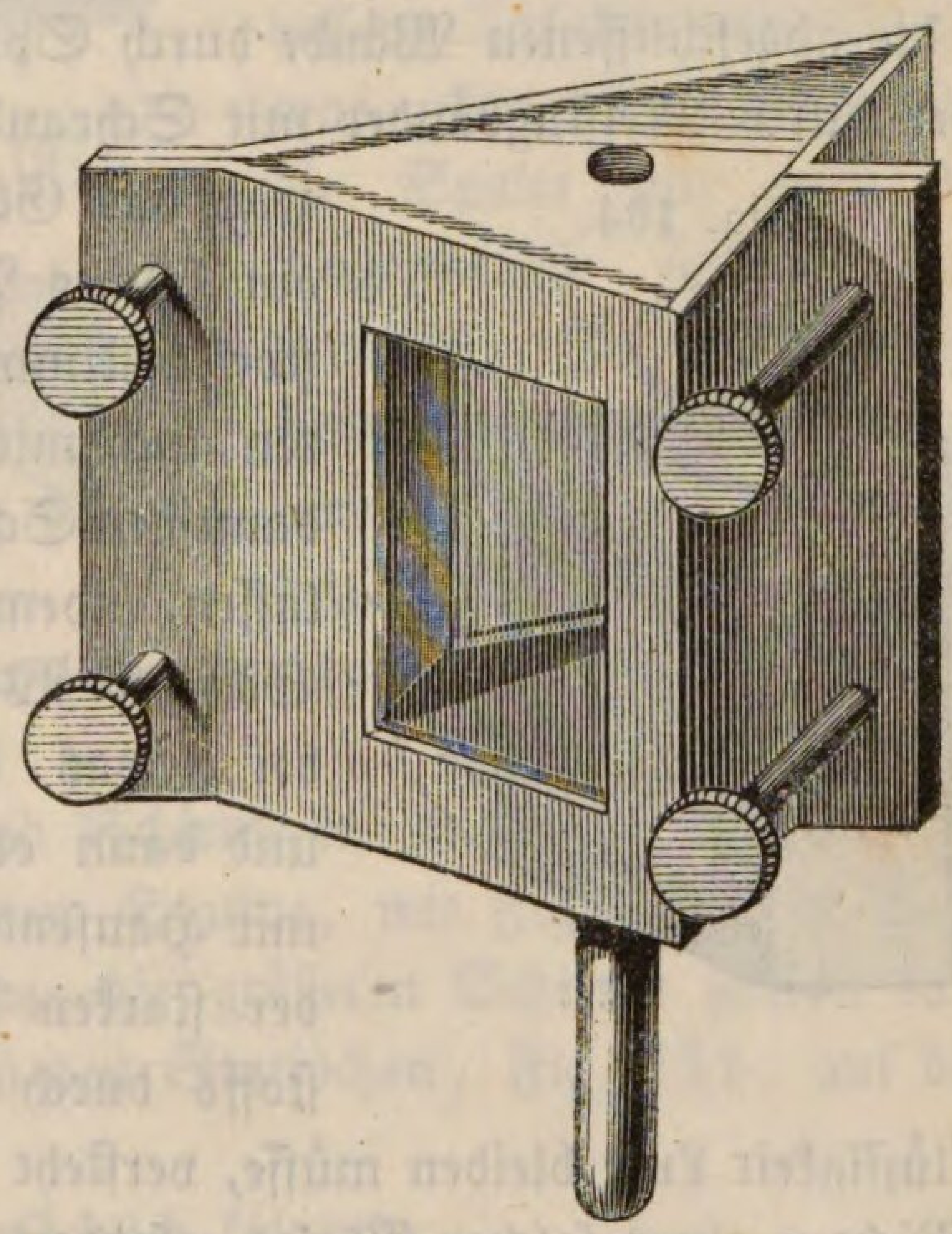


Fig. 193.



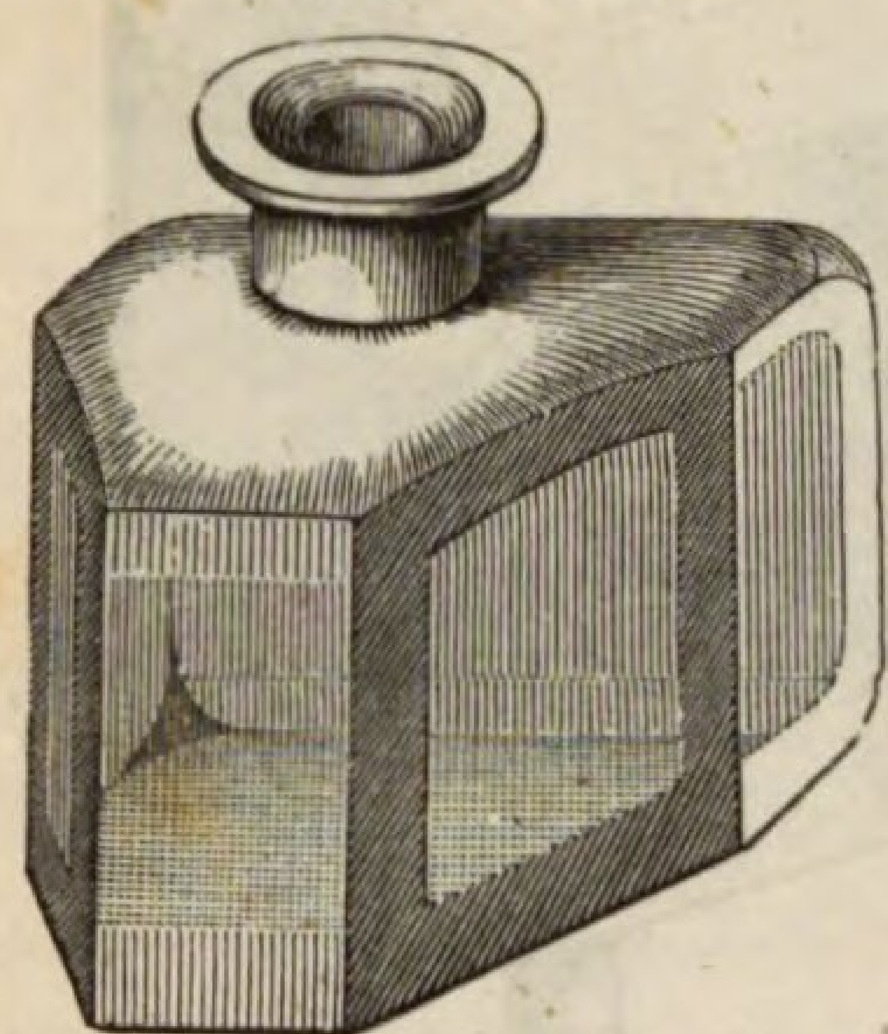
dem Stäbchen *ac* verbunden; das Stäbchen *ac* aber paßt in eines der Stative, Fig. 177. Man kann so das Prisma in jede beliebige Stellung bringen.

Hohlprismen, wie Fig. 193, kann man sich selbst machen, wenn man einige Arbeitsfähigkeit erworben hat, was bei Glasprismen viel weniger der Fall ist, indem es schwer hält, die erforderliche Feinheit des Schliffes und der Politur herauszubringen, aus Mangel an den nöthigen gehörig abgestuften Schleifmitteln, selbst wenn man auch dazu passendes Glas hätte.

Die erwähnten Hohlprismen bestehen aus einem Körper von Messing, wozu man ein hölzernes Modell anfertigt; wenn das Stück aus der Gießerei kommt, so reinigt man dasselbe äußerlich und in der Oeffnung mit der Feile und schleift die Seiten, welche mit Glas belegt werden sollen, zuerst mit Sand, zuletzt mit Smirgel eben und matt. In die eine der Grundflächen wird der metallene Stift befestigt, um das Prisma in ein Stativchen stecken zu können, in die andere Grundfläche bohrt man ein Loch, welches in die Höhlung des Prismas hineinreicht und mit einem

einem eingeschliffenen Stöpsel versehen wird. Die Seiten des Prisma werden mit Stückchen reinen Spiegelglases belegt und diese durch zwei Messingbleche, welche mit entsprechenden Oeffnungen versehen sind, und vier Schrauben an den Körper des Prisma angepreßt. Die eigentlichen Auslagen für ein solches Prisma sind sehr unbedeutend, aber Arbeit erfordert es freilich; und kann doch nicht für Säuren gebraucht werden; auch Schwefelkohlenstoff erleidet darin nach und nach eine Zersetzung. Zweckmäßiger ist es, aus einem viereckigen Glasgefäße mit eingeriebenem Stöpsel durch Abschleifen zweier Wände ein hohles Prisma zu verfertigen und die abgeschliffenen Wände durch Spiegelplatten zu ersetzen, die dann wieder durch Messingbänder mit Schrauben angehalten werden (Fig. 194 zeigt das Glas noch ohne die Platten). Ist ein solches Prisma nur für Schwefelkohlenstoff bestimmt, so kann man die Spiegelplatten auch mit Hausenblasenleim aufkitten, und dann den Schwefelkohlenstoff für immer darin lassen, indem man ihn noch mit einer dünnen Schichte Wasser bedeckt, oder die Füllung bei etwas hoher Lufttemperatur vornimmt, und dann ohne Wasser den Stöpsel ebenfalls mit Hausenblasenleim aufkittet. Daß wegen der starken Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffs durch die Wärme in jedem Falle über der Flüssigkeit Luft bleiben müsse, versteht sich von selbst. Das Abschleifen und Richten eines solchen Glases erfordert weniger Arbeit, als man meinen sollte, das Abschleifen der Ecken geschieht auf einer Eisenplatte mit Sand, das vollständige Ebenrichten und Feinschleifen auf einer Spiegelplatte mit feinem Smirgel. — Sowohl beim Füllen als beim Entleeren der Prismen bedient man sich am besten einer Pipette mit langausgezogener Spitze, oder auch nur eines solchen Glasrohres; die Spitze muß durch die Oeffnung bis auf den Boden des Prismas langen.

Fig. 194.



131 **Versuche mit den Prismen** können mit Erfolg nur im dunkeln Zimmer gemacht werden, in welches man das Sonnenlicht durch eine runde Oeffnung mittelst des Heliostats einleitet. Die Oeffnung darf 1—2 Linien Durchmesser nicht überschreiten, wenn man die Farben rein erhalten will. Für die meisten Versuche ist eine schmale Spalte zweckmäßiger, deren Höhe die Länge des Prismas nicht überschreitet; die Kante des brechenden Winkels, sowie die Spalte, stehen am besten vertikal, weil so das Spectrum immer in zweckmäßiger Höhe bleibt.

Um eine solche Spalte am Brettchen des Heliostats anzubringen, kann man entweder auf dasselbe oder noch besser auf die mittlere Messingplatte

aa, Fig. 195, zwei Stäbchen *mm*, *nn* befestigen, deren jedes nach innen abgefalzt ist, oder man befestigt zwei solche Stäbchen auf den Boden einer kurzen Röhre *A*, Fig. 196, wenn vor der Oeffnung des Heliostats sich eine nicht abnehmbare Röhre befindet. In den durch die Stäbchen gebildeten Falz steckt man zwei eben gerichtete und gerade gefeilte (nöthigenfalls gerade geschliffene) Plättchen von dünnem Bleche, Fig 197, die man zum bessern Anfassen einerseits etwas aufbiegt. Es genügt, wenn die Spalte nur nach dem Augenmaaße überall gleich breit ist. In denselben Falz kann man auch Bleche mit einer entsprechend kleinen runden Oeffnung, sowie noch andere Vorrichtungen schieben, von welchen bei der Beugung die Rede sein wird.

Fig. 195

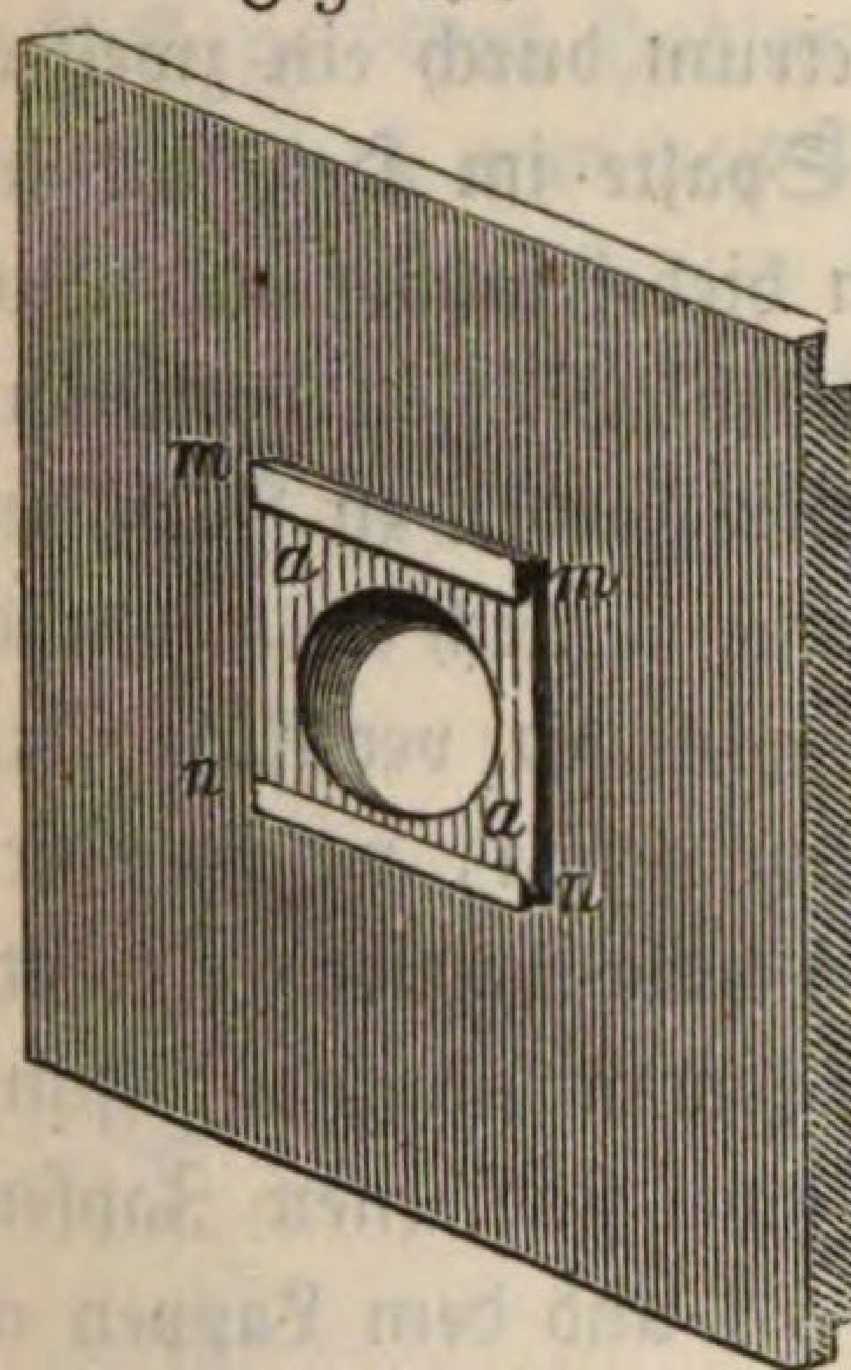


Fig. 196.

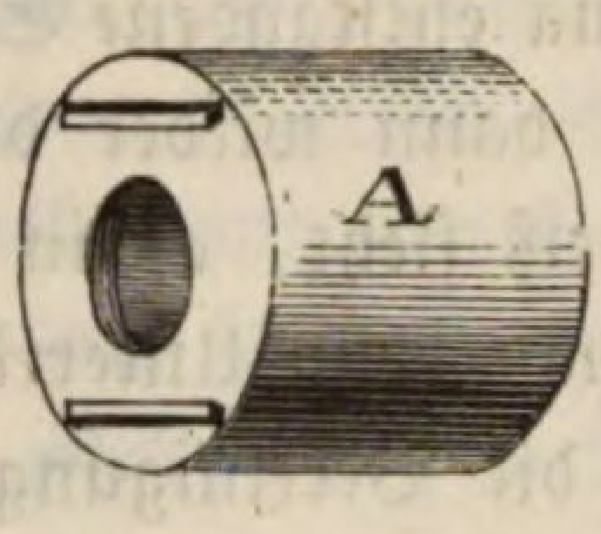
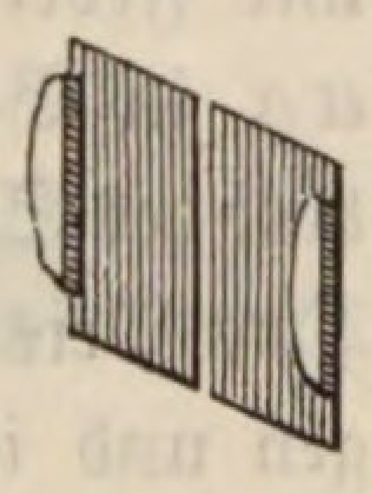


Fig. 197.



Um die Prismen, Linsen und Schirme 2c. in beliebiger Entfernung bequem aufstellen zu können, dienen Stative, wie Fig. 178, in welche man entweder kleine Tischchen oder die größeren Schirme stecken kann. Prismen und Linsen stellt man in den Stativchen, Fig. 177, auf diese Tischchen.

Die Versuche sind nun hauptsächlich folgende.

1) Das Spectrum selbst, wobei man gewöhnlich zuerst eine runde Oeffnung anwendet, um die obere und untere Abrundung zu zeigen. Man läßt es auf einen Schirm mit weißem Papiere fallen.

2) Die Vereinigung aller Farben giebt wieder weiß. Für diesen Zweck wählt man die Spalte, stellt das Prisma in eine Entfernung von 5—10 Fuß von derselben und läßt das Spectrum auf eine Convexlinse fallen, die breit genug ist, um dasselbe ganz aufzunehmen. Die Entfernung der Linse vom Prisma muß so sein, daß sie ein vergrößertes Bild von der brechenden Fläche des Prismas geben kann, oder wenigstens kein viel kleineres; an den Ort dieses Bildes stellt man einen weißen Schirm. Wenn man die brechende Kante des Prismas ordentlich parallel mit der Spalte, die Linse senkrecht in das Spectrum, den Schirm aber ein wenig schief stellt, so daß er auf Seite der blauen Strahlen etwas näher an der Linse steht, so wird man ein schönes weißes Bild von der brechenden Fläche des Prisma erhalten, das nur am Rande her einerseits einen blauen, andererseits einen rothen ganz feinen Saum behält. Ein achromatisches

Glas wirkt hiebei freilich besser; achromatische Linsen von einiger Breite sind indessen theuer. Hält man durch geschwärzte Papierstreifen einzelne Theile des Spectrums auf, so zeigen sich hiebei sehr schön die complementären Faben.

Man kann diesen Versuch auch so anstellen, daß man in passender Entfernung das durch ein Prisma entstandene Spectrum durch ein zweites Prisma betrachtet, wobei man dann wieder die Spalte im Heliostat in ihrer natürlichen Breite und weiß sieht, allein da hiebei immer nur eine Person sehen kann, so würde man beim Unterrichte zu viel Zeit verlieren.

Eine weitere Vorrichtung, die Vereinigung aller Farben zu Weiß zu bewirken, ist das oscillirende Prisma, Fig. 198. Durch ein Kronrad mit Federhaus wird die vertikale Axe *a a* in Bewegung gesetzt, welche oberhalb des Steges *b b* die Scheibe *c c* trägt. Das Prisma *P* hat messingene Fassungen und ist an zwei stählernen Zapfen in den Stegen *b b* und dem Lappen *d* beweglich; an seiner untern Fassung ist die kleine Schiene *f f*, Fig. 199, durch deren Schlitz der auf der Scheibe *c c* befestigte Zapfen *h* hindurch reicht. Wird die leichte Feder an dem Zapfen *z* aufgezogen, so versetzt die Drehung der Scheibe *c c* das Prisma in eine rasche oscillirende Bewegung. Die Weite dieser Bewegung muß so groß sein, daß dadurch das Spectrum um seine ganze Länge vorrückt, daß das äußerste Blau an die Stelle des äußersten Roth kommt; sie wird durch einen vorläufigen Versuch mit dem hiezu bestimmten Prisma ermittelt und danach richtet sich die Breite der Scheibe *c c* und die Länge der Schiene *f f*. Die Figur zeigt den Apparat in etwa der halben Größe.

Fig. 198.

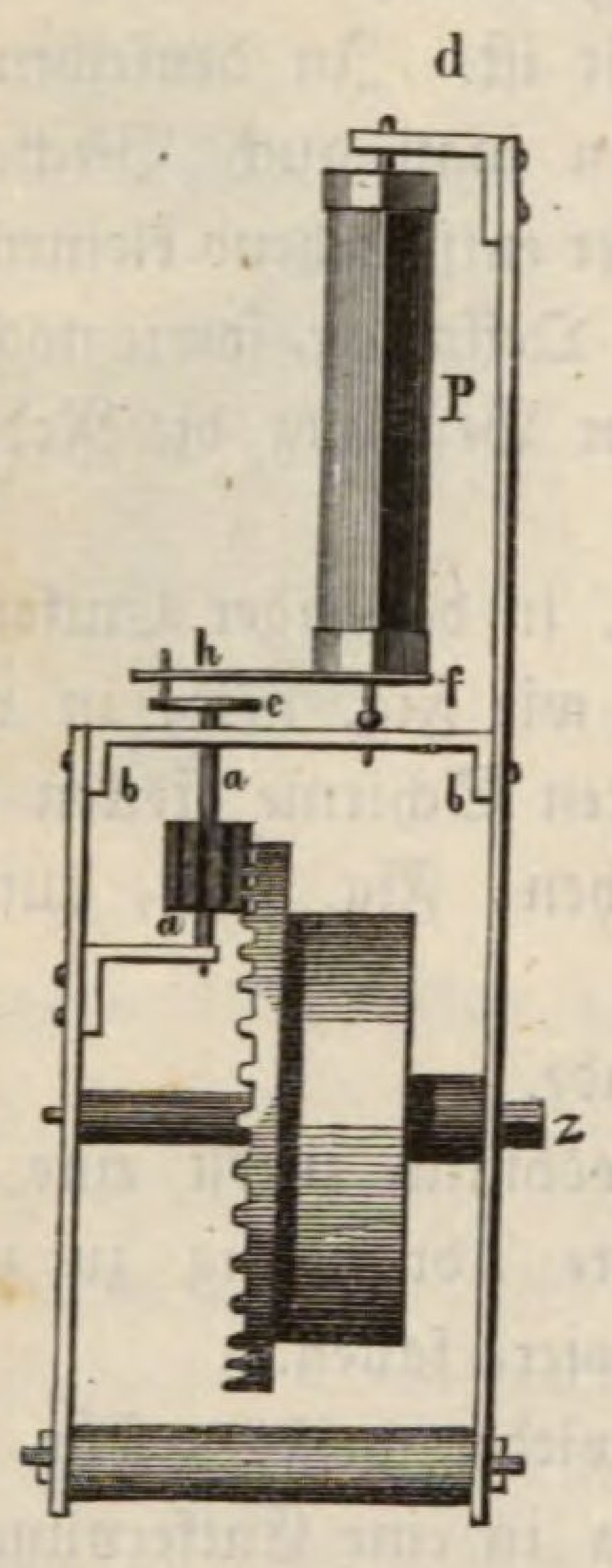
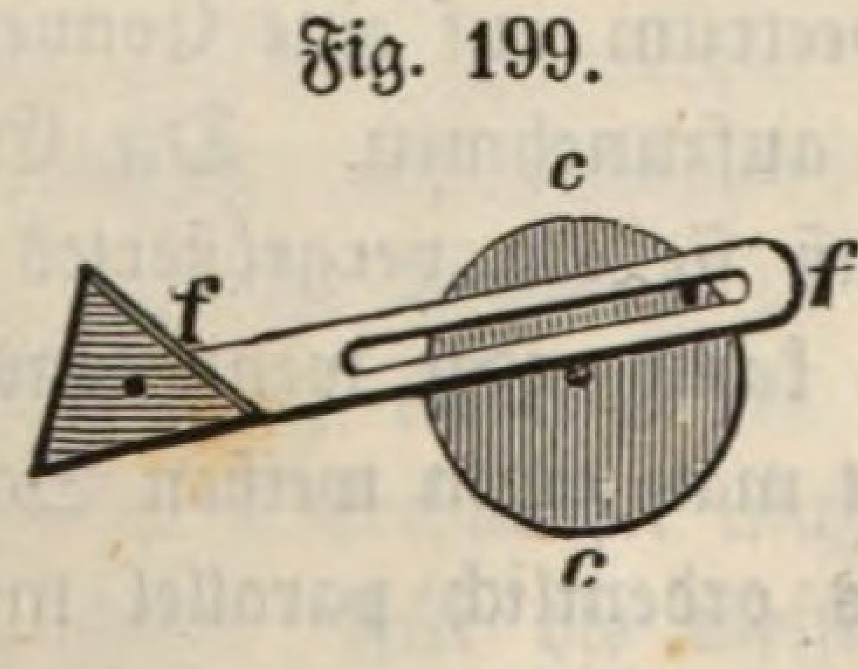


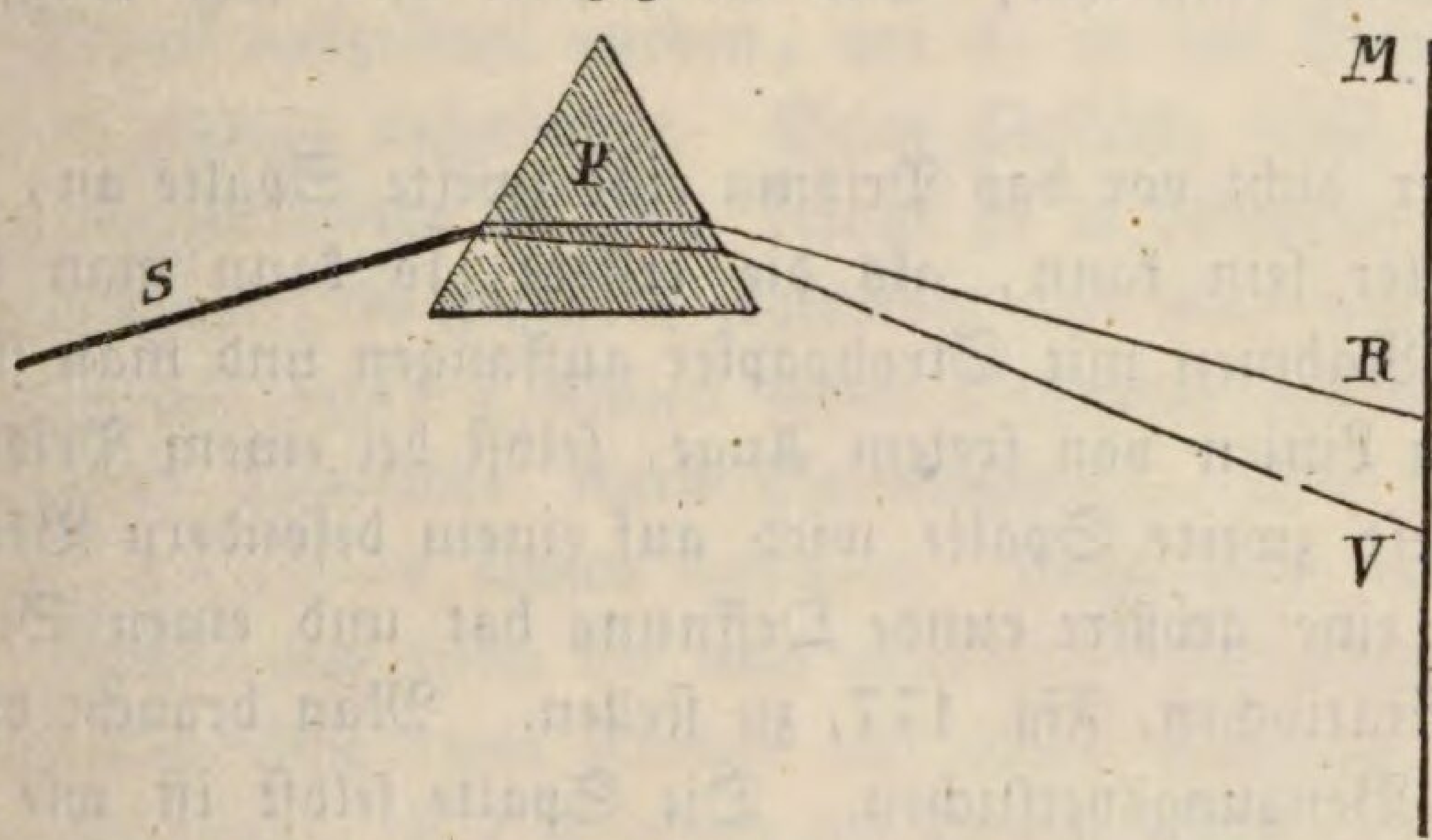
Fig. 199.



3) Um zu zeigen, daß Orange, Grün und Violet keine zusammengesetzten Farben sind, schneidet man in ein Papier eine Spalte von geringerer Breite, als die zu untersuchende Farbe im Spectrum einnimmt, und läßt sie durch diese auf ein zweites Prisma fallen. Man kann hiezu einen kleinen mit Papier bezogenen Rahmen zurichten.

4) **Die Fraunhofer'schen Linien.** Jedes Prisma, dessen Flächen gehörig eben und dessen Masse homogen ist, kann dazu gebraucht werden, um diese Linien zu zeigen, selbst ein Wasserprisma; allein man kann um so mehr Streifen unterscheiden, je größer die zerstreuende Kraft der Substanz ist; ganz ausgezeichnet erscheinen sie durch ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Hohlprisma. Ein wesentlicher Vortheil wird dadurch erlangt, daß man das Prisma in größere Entfernung von der Spalte bringt, doch reicht auch eine Entfernung von 8—10 Fuß schon aus. In jedem Falle stellt man das Prisma so, daß die Kante seines brechenden Winkels mit der Spalte parallel wird und das Minimum der Ablenkung eintritt.

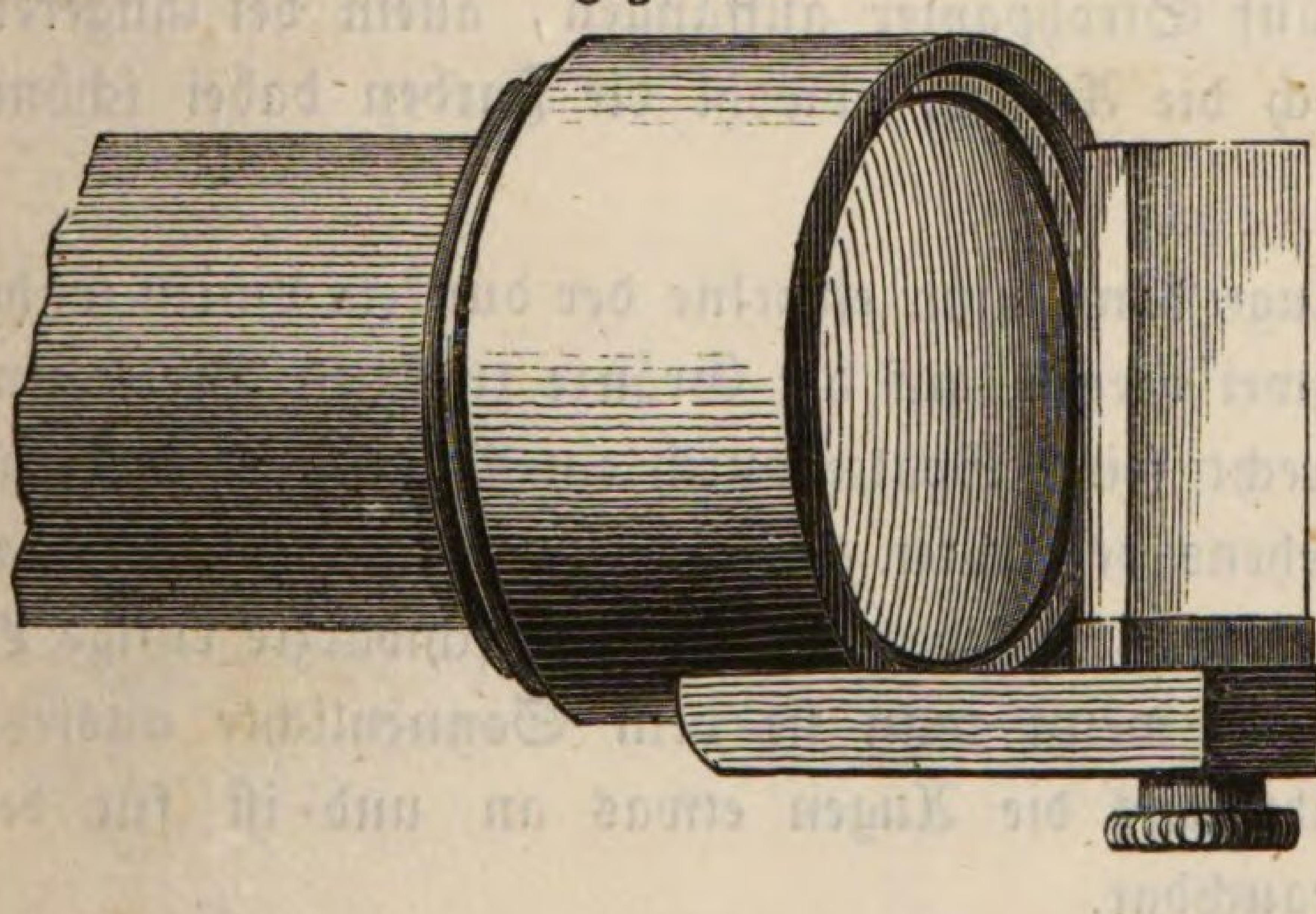
Fig. 200.



Letzteres ist leicht zu erreichen, man hat nur das Prisma um seine Axe langsam zu drehen und man wird die Stellung sehr bald ausfinden, in welcher das Spectrum am weitesten gegen *M*, Fig. 200, hin zu liegen kommt.

Die Spalte darf nicht wohl über $1/4$ Linie breit sein, sie giebt bei $1/10$ Linie noch Licht genug und die Linien nur desto besser; ihre Höhe aber sollte 10—15 Linien betragen. Gewöhnlich läßt man das Spectrum auf das Objectiv eines Fernrohrs fallen und dieses muß so eingestellt werden, wie es für weit ab liegende Gegenstände erforderlich ist und sein Objectiv kommt dicht hinter das Prisma. Besser ist es, wenn man einen Holzring auf das Objectivende des Fernrohrs aufpaßt und an diesen das Prisma so befestigt, daß es um seine vor der Mitte des Objectivs befindliche Axe gedreht werden kann. Wie? hängt von der Fassung des Prisma ab. Wäre dieselbe wie in Fig. 192, so könnte es auf die in Fig. 201 dargestellte Art geschehen. Man erreicht dabei den Vortheil, daß das Prisma vor dem Vorrücken oder gar vor dem Umstoßen gesichert

Fig. 201.



ist, was in einem dunkeln Zimmer bei vielen Zuhörern leicht eintreten könnte. Außerdem kann man seine Stellung gegen das Fernrohr genauer reguliren, als auf einem besondern Stative. Ein achromatisches Fernrohr von 10 — 20maliger Vergrößerung ist zu den Versuchen vollkommen genügend. Wollte man Messungen machen, so müßte man das Fernrohr eines Winkelinstrumentes anwenden.

Obwohl man auf diese Weise die Linien schärfer und zahlreicher sieht, als bei den folgenden, so ist dieselbe für den Unterricht aus einem doppelten Grunde ganz unanwendbar; man verliert nämlich zu viel Zeit bis jeder einzeln durch das Fernrohr gesehen hat, und dann sollte Jeder das Fernrohr für seine Sehweite einstellen, was Manchem nur sehr langsam gelingt.

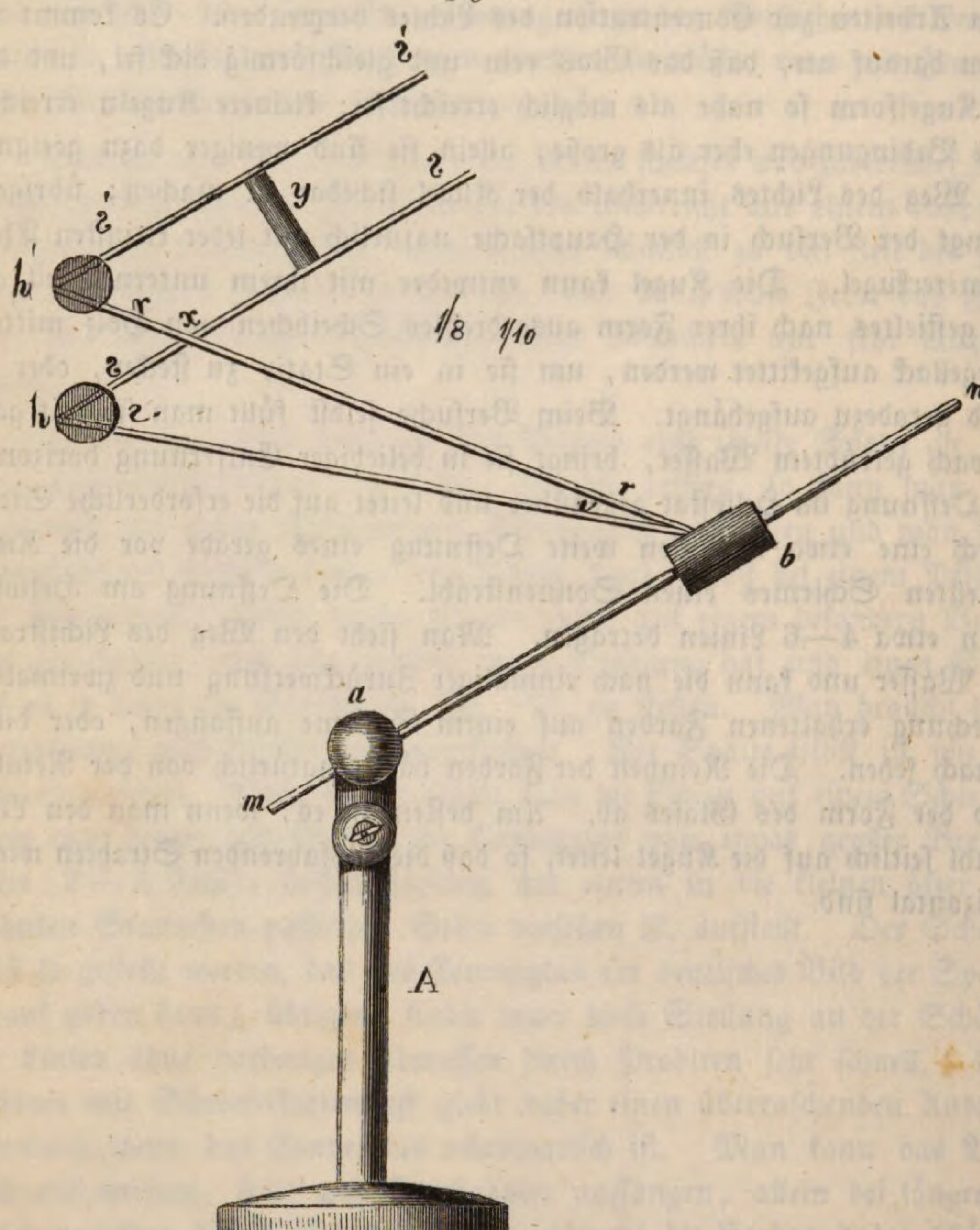
Bringt man aber dicht vor das Prisma eine zweite Spalte an, die dann beträchtlich breiter sein kann, als die erstere, so kann man das Spectrum auf einem Rahmen mit Strohpapier auffangen und man sieht wenigstens die stärkern Linien von freiem Auge, selbst bei einem Prisma aus Crownglas. Diese zweite Spalte wird auf einem besondern Brettchen angebracht, das eine größere runde Oeffnung hat und einen Stiel, um es in eines der Stativchen, Fig. 177, zu stellen. Man braucht diese Vorrichtung auch bei Beugungsversuchen. Die Spalte selbst ist wie die erste eingerichtet. Noch schöner erhält man die Linien auf einem Schirme, wenn man hinter das Prisma ein Converglas von etwas großer Brennweite (2 — 4 Fuß), dessen Fassung mit einem in die kleinen öfter erwähnten Stativchen passenden Stiele versehen ist, aufstellt. Der Schirm muß so gestellt werden, daß das Converglas ein deutliches Bild der Spalte darauf geben kann; übrigens findet man diese Stellung an der Schärfe der Linien ohne vorheriges Abmessen durch Probiren sehr schnell. Ein Prisma mit Schwefelkohlenstoff giebt dabei einen überraschenden Anblick, besonders wenn das Converglas achromatisch ist. Man kann das Bild auch auf weißem, statt auf Strohpapier auffangen, allein bei längerem Ansehen leiden hiebei doch die Augen, obwohl die Farben dabei schöner erscheinen.

Selbst mit freiem Auge kann man einzelne der dunkeln Linien wahrnehmen, wenigstens die zwei breiten auf der Gränze zwischen Violet und Blau, wenn man eine recht feine Spalte durch ein Prisma in der Entfernung des deutlichen Sehens betrachtet. Statt einer Spalte kann man auch die feine Lichtlinie nehmen, welche eine innen geschwärzte einige Linien dicke Glasröhre liefert, wenn man sie dem Sonnenlichte aussetzt. Dieser Versuch greift übrigens die Augen etwas an und ist für den Unterricht jedenfalls unbrauchbar.

Der Regenbogen. Zur Erläuterung der Theorie des Regenbogens 132
verwendet man eine gläserne mit Wasser gefüllte Kugel von 2—5 Zoll Durchmesser — die größeren sind überall zu haben, da sie viele Handwerker beim Arbeiten zur Concentration des Lichtes verwenden. Es kommt vor allem darauf an, daß das Glas rein und gleichförmig dick sei, und daß die Kugelform so nahe als möglich erreicht sei; kleinere Kugeln erreichen diese Bedingungen eher als große, allein sie sind weniger dazu geeignet, den Weg des Lichtes innerhalb der Kugel sichtbar zu machen; übrigens gelingt der Versuch in der Hauptsache natürlich mit jeder kleinsten Thermometerkugel. Die Kugel kann entweder mit ihrem untern Theil auf ein gestieltes nach ihrer Form ausgedrehtes Scheibchen von Holz mittelst Siegellack aufgekittet werden, um sie in ein Stativ zu stecken, oder sie wird geradezu aufgehängt. Beim Versuche selbst füllt man sie mit ganz schwach getrübtem Wasser, bringt sie in beliebiger Entfernung horizontal der Oeffnung im Heliostat gegenüber und leitet auf die erforderliche Stelle, durch eine etwa 2 Linien weite Oeffnung eines gerade vor die Kugel gestellten Schirmes einen Sonnenstrahl. Die Oeffnung am Heliostat kann etwa 4—6 Linien betragen. Man sieht den Weg des Lichtstrahls im Wasser und kann die nach einmaliger Zurückwerfung und zweimaliger Brechung erhaltenen Farben auf einem Schirme auffangen, oder direct danach sehen. Die Reinheit der Farben hängt natürlich von der Reinheit und der Form des Glases ab. Am besten ist es, wenn man den Lichtstrahl seitlich auf die Kugel leitet, so daß die ausfahrenden Strahlen wieder horizontal sind.

Für die Erläuterung der Bogengestalt am Regenbogen ist der in Fig. 202 abgebildete, von **Reusch** angegebene Apparat sehr bequem; er be-

Fig. 202.



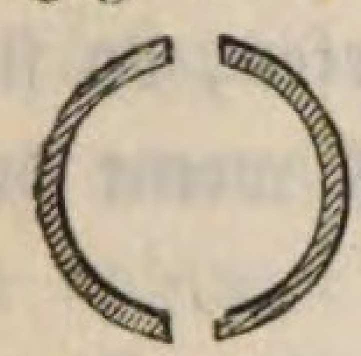
steht aus dem kugelförmigen Kopfe *a*, der in dem Gestelle *A* mit ziemlicher Reibung sich bewegen läßt und den etwa 3 Linien starken Glasstab *mn* eingekittet trägt. An diesem Glasstabe steckt der dicke Kork *b*, welcher die Stelle des Auges einnimmt und um *mn* drehbar ist, während die beiden nur 1 — 2 Linien dicke Stäbe *rr*, *vv* in den Kork fest gekittet sind. Von diesen Stäben trägt jeder eine kleine hölzerne mit Papier bezogene Scheibe *h*, *h'*, und jede dieser Scheiben einen dünnen Stab *ss*, *s's'*. Die Stäbe *ss*, *s's'* werden weiß, der Stab *rr* roth und *vv* blau angestrichen, sie werden ungefähr in den der Theorie entsprechenden Winkeln eingesteckt

und auf die Scheiben *h h'* der Weg der Lichtstrahlen im brechenden Tropfen aufgemalt, so daß *r r* die Verlängerung des rothen, *v v* jene des violetten Strahles ist. Zu besserer Festigkeit werden die Stäbe bei *x* fest verbunden und außerdem durch das leichte hölzerne Stäbchen *y*, an welches sie mit Faden gebunden sind, in ihrer Lage erhalten. Dreht man nun den Zapfen *b* um den mit *s s*, *s' s'*, parallelen Stab *m n*, so beschreiben die Stäbe *v v*, *r r* die Kegeloberflächen, in welchen die brechenden Tropfen liegen.

Um die chromatische Abweichung von Linsen zu zeigen, muß 133
man eine Linse von großer Brennweite — 4 Fuß und darüber nehmen, und im Hintergrunde eines Zimmers auf weißer Wand das Bild eines Fensters auffangen. Man kann dabei die farbigen rothen oder blauen Säume sehr gut sehen, je nachdem man die Linse in die Brennweite der blauen oder rothen Strahlen rückt.

Auch auf folgende Art kann man dieses sehr gut zeigen. Man macht in ein Blech zwei halbkreisförmige Ausschnitte, wie Fig. 203, und nimmt den inneren Durchmesser so groß, daß er das von dem eben erwähnten Converglase kommende Sonnenbild, wo es am kleinsten und schärfsten ist, gerade noch ganz auffassen kann; das Converglas wird dann senkrecht zu den Sonnenstrahlen in der Oeffnung des Ladens befestigt und das Bild der Sonne mit dem Blech aufgefangen. Auf einem einige Zoll hinter dem Bleche gehaltenes Papier kommt jetzt kein durch das Glas gegangenes Licht; nähert man aber Blech und Papier mehr dem Glase, so wird das Sonnenbild nicht mehr ganz aufgefangen und das durch den Ausschnitt gehende Licht ist röthlich, entfernt man Blech und Papier weiter, so erscheint das durch den Spalt gegangene Licht bläulicht. Der Versuch würde viel bequemer und besser angestellt werden, wenn man die Linse im Heliostat einsetzen könnte; allein dies könnte nur geschehen, wenn der Heliostat mit einem Metallspiegel versehen wäre.

Fig. 203.



D. Versuche über das Sehen und über einige zusammengesetzte optische Instrumente.

Das Auge. Um das verkehrte verkleinerte Bildchen nachzuweisen, 134
welches von den Gegenständen entsteht, so wie den Bau des Auges im Allgemeinen, nimmt man ein Auge von einem eben erst getödteten Ochsen und reinigt es mittelst eines spitzigen scharfen Messers mit converer Schneide von dem anhängenden Fette und den Muskelresten, da die Betrachtung dieser für die Physik nicht erforderlich ist; den Sehnerven läßt man stehen und reinigt ihn ebenfalls. In der Richtung der Are des Auges wird so-

dann aus der weißen harten Haut ein etwa zwei Linien hohes und eine bis anderthalb Linien breites Stückchen ausgeschnitten. Man schneidet zuerst mit dem Ballen des Messers ziehend die vier Seiten der Oeffnung, etwa zur Hälfte durch die Dicke der harten Haut, und öffnet sie dann mit der Spitze des Messers vorsichtig an einer Stelle; in die entstandene Oeffnung führt man eine spitzige, aber auch bis an die Spitze gute Scheere ein und vollendet damit den Schnitt ringsum; wenn die Scheere nach der Schneide gebogen ist, so ist es nur um so bequemer. Man legt jetzt das Auge auf ein hölzernes Stativchen, welches oberhalb nach der Form eines Ochsenauges ausgehöhlt ist, so daß das Auge weniger aus seiner Form kommt, und entfernt auch die Aderhaut. Es ist dieses recht wohl ohne Verletzung der Netzhaut möglich, wenn man mittelst einer guten spitzigen Pincette die Aderhaut faßt und dann mit dem Messer in die gefaßte Stelle einschneidet, worauf man das weitere durch die Scheere vollendet. Die Aderhaut wird dabei nur eingeschnitten und die Reste zurückgeschlagen. Es genügt auch die äußere schwarze Lamelle der Aderhaut zu entfernen, was aber schwieriger ist, doch wird das Bildchen schärfer, da sich die Netzhaut immer etwas in die Oeffnung drängt, besonders wenn das Stativchen nicht die Form des Auges hat.

Hält man nach dieser Vorbereitung eine Kerzenflamme vor das Auge, so sieht man auf der durchscheinenden Stelle des Auges das verkehrte Bild derselben sehr deutlich und scharf begränzt

Nach diesem Versuche legt man das Auge auf die Hornhaut und erweitert den Schnitt in der harten weißen Haut mit der Scheere bis auf etwa eine Linie zu der Hornhaut hin, worauf man ihn in dieser Entfernung kreisförmig um das Auge herumführt. Ist die Scheere nicht geknöpft, so muß man beim jedesmaligen Einführen der Spitze dieselbe gegen die harte Haut richten, damit die Aderhaut ganz bleibt. Man faßt nun die harte Haut mit der Pincette, hebt sie auf und löst ihre schwachen Verbindungen mit der Aderhaut mittelst des Messers ringsum bis an den Sehnerven, den man zuletzt durchschneidet. Es ist nun die Aderhaut beinahe in ihrer ganzen Ausdehnung bloßgelegt. Von den zwei Oeffnungen aus, die nun bereits darin sind, macht man dann in die Aderhaut mit der Scheere ein paar Einschnitte gegen die Hornhaut hin, wobei man aber die Aderhaut stets mit der Pincette in die Höhe hält und die entstandenen Lappen umschlägt; die Netzhaut wird so vollständig bloßgelegt. Zuletzt entfernt man auch diese, indem man sie stellenweise mit der Pincette faßt und bei Seite zieht; nur wenn das Auge ganz frisch ist, hat sie einen merklichen Zusammenhang, gewöhnlich darf man dieselbe nur bei Seite schieben, um den Glaskörper in vollkommener Klarheit zu zeigen. Man sieht jetzt auch die Linse so wie den wulstigen gefältelten Ring, in welchen

die Aderhaut nach vorn endet, und in welchem die Linsenkapsel befestigt ist; letztere ist für die physikalische Betrachtung des Auges nicht von Wichtigkeit und kann daher ignorirt werden. Faßt man Aderhaut und harte Haut, und hebt daran das Auge auf, so lösen sich Glaskörper und Linse durch ihr eigenes Gewicht, wenn man nur wenig nachhilft, vom Strahlenkörper ab; man läßt sie in ein Schälchen fallen, die Linse nach oben; sie ist dann gewöhnlich von dem hängenbleibenden schwarzen Pigmente umkränzt. Ritzt man nun mit der Messerspitze die Linsenkapsel seitwärts, so kommt die Linse leicht aus derselben hervor; sie kann dann mit dem Rande auf eine Spitze gesteckt und wie ein Linsenglas gebraucht werden. Will man ihre blätterige Textur zeigen, so erhärtet man dieselbe in Weingeist.

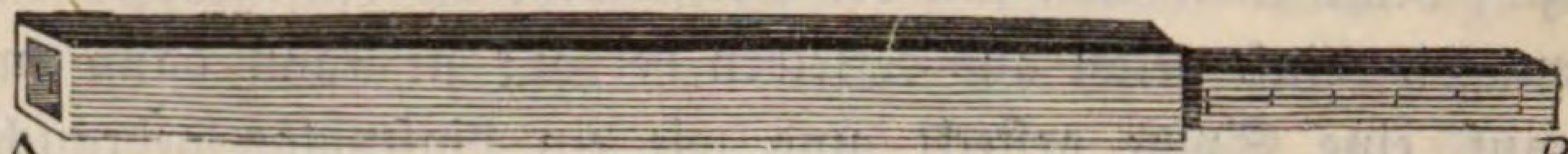
Ein zweites Auge wird von vorn geöffnet, indem man die scharfe Messerspitze am Rande der Hornhaut einsetzt und dieselbe bis in die vordere Augenkammer vorschiebt, so daß sie aber vor der Iris eindringt und das Messer dabei in einer mit jener der Iris parallelen Ebene liegt. Beim Zurückziehen des Messers fließt sogleich die wässerige Flüssigkeit ganz aus, und man schneidet nun mit der Scheere die Hornhaut gänzlich weg, um die dahinter befindliche Iris zu zeigen. Wird auch diese an ihrem Rande von der Aderhaut getrennt, so sieht man abermals die Linsenkapsel mit der Linse.

Auf diese Weise muß wohl das Wesentliche des Baues der Augen klar werden; eine solche Demonstration wird aber vorzüglich unterstützt durch ein künstliches Auge in größerem Maaßstabe, dessen einzelne Theile zerlegt werden können, wie man diese namentlich aus Paris von vorzüglicher Schönheit erhält.

Das Sehen. Um den Versuch des Pater Scheiner, worauf z. B. 135
das Stampfer'sche Optometer beruht, objectiv zu machen, nehme man den Balken Fig. 184, und stecke einen weißen Schirm am Ende desselben auf, die kleine Lampe Fig. 186 etwa auf $1/3$ der ganzen Länge vom anderen Ende, und ein Converglas zwischen beide, so daß der Schirm ein deutliches Bild der Flamme zeigt. Dieses Bild wird deutlich bleiben, wenn man auch dicht vor das Converglas einen zweiten Schirm aufstellt, aus welchem zwei rechteckige Streifen von 1 Zoll Höhe und $1/3$ Zoll Breite ausgeschnitten sind, die etwa einen halben Zoll von einander abstehen. Der leuchtende Gegenstand befindet sich jetzt in der normalen Weite des deutlichen Sehens für ein Auge, dessen Netzhaut der weiße Schirm und dessen Krystalllinse die Glaslinse vorstellt; verändert man nun die Entfernung der Lichtflamme, so zeigen sich von derselben sogleich auf dem weißen Schirme zwei Bilder; die um so weiter aus einander rücken, je mehr man die Stellung der Flamme ändert.

136 Ein **Stampfer'sches Optometer** in seiner einfachsten Gestalt läßt sich nun auf folgende Weise sehr leicht herstellen. Man läßt vom Schreiner zwei viereckige hölzerne 15 Zoll lange Röhren machen, wovon die eine in der anderen leicht verschoben werden kann, aber doch gut eingepaßt ist. Die weitere bekommt etwa einen Zoll Seite, und die engere wird ihrer ganzen Länge nach in Zolle und Linien getheilt. Bei *A* Fig. 204 wird in

Fig. 204.



die weitere ein Stückchen Glas eingesetzt, auf welches man ein Stanniolblättchen geklebt hat, worein man zwei Spalten schneidet, die etwa einen halben Zoll hoch, $1/5$ Linien breit, und um eben so viel von einander entfernt sind; das eingesteckte Ende der engeren Röhre wird ebenfalls durch ein mit Stanniol überklebtes Glas geschlossen, das jedoch nur eine Spalte erhält; das Ende *B* aber verschließt man durch ein fein matt geschliffenes Glas, oder auch nur durch ein Stückchen Strohpapier. Wenn die engere Röhre ganz eingeschoben ist, so muß das *o* ihrer Theilung nach so weit über die weitere Röhre hervorstehen, als dann die Spalte auf ihrem Glase von den beiden Spalten bei *A* absteht. Hält man die beiden Röhren gegen das Tageslicht, und verschiebt die engere so lange, bis man ihre Spalte durch die beiden Spalten bei *A* nur einfach sieht, so giebt die Theilung die Weite des deutlichen Sehens für dieses Auge an; man muß aber dabei das Mittel aus den beiden Stellungen nehmen, bei welchen die Spalte aufhört einfach zu erscheinen, wenn man die Röhre weiter hinaus und weiter hineinschiebt. Noch sicherer ist es, das Auge immer wieder erst nach einiger Ruhe hinein sehen zu lassen und die Stellung zu suchen, wo die Spalte dem nicht accomodirten Auge einfach erscheint. Das Instrument wird auf diese Art ziemlich lang, da es keine Convexlinse enthält, wie das Stampfer'sche, ist aber recht wohl brauchbar. Die für die gemessene Sehweite erforderliche Linse, um den normalen Zustand herbeizuführen, kann, wenn es nöthig wird, berechnet, oder auf einer anderen Seite der engeren Röhre eine entsprechende Skale angebracht werden, welche gleich die Brennweite der erforderlichen Linse angiebt, etwa in Wiener Zollen, da doch die Nummern der Brillengläser meistens nach diesen laufen, wo dann die Zollskale die gleichen Zolle erhält.

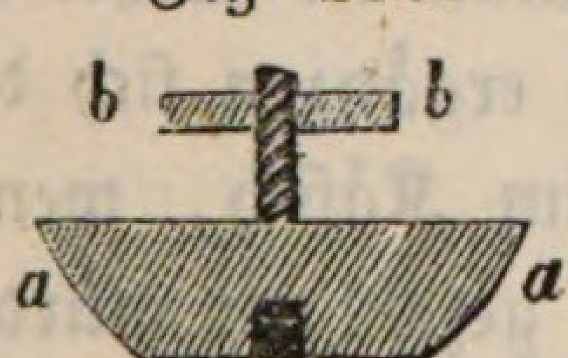
Folgende Tabelle enthält die den fortlaufenden Nummern der im Handel vorkommenden Gläser entsprechenden Sehweiten in Zollen, die normale Sehweite zu 8 Zoll genommen und kann daher neben der Zollskale der engeren Röhre aufgetragen werden. Will man eine Brille hier-

nach aussuchen, so muß man doch immer das schwächere Glas, für dessen Nummer die Spalte noch einfach erscheint, annehmen.

Nummer.	Sehweite.	Nummer.	Sehweite.	Nummer.	Sehweite.	Nummer.	Sehweite.
1	0,88	16	5,33	9	72,00	18	14,40
2	1,66	17	5,44	9¼	59,20	19	13,81
3	2,18	18	5,54	9½	50,66	20	13,33
4	2,66	19	5,63	9¾	44,57	22	12,57
5	3,07	20	5,71	10	40,00	24	12,00
6	3,43	22	5,87	10½	33,60	26	11,55
7	3,73	24	6,00	11	29,33	28	11,10
8	4,00	26	6,12	11½	26,28	30	10,90
9	4,23	28	6,22	12	24,00	32	10,66
10	4,44	30	6,31	13	20,80	34	10,46
11	4,63	32	6,40	14	18,66	36	10,28
12	4,80	34	6,48	15	17,14	38	10,13
13	4,95	36	6,54	16	16,00	40	10,00
14	5,09	38	6,61	17	15,11		
15	5,22	40	6,66				

Dauer des Lichteindrucks im Auge. Die Farbenspindel. Zu die- 137

Fig. 205.



sem Versuche dient ebenfalls die Schwungmaschine, und zwar der Aufsatz, Fig. 205, auf welchen man die mit den erforderlichen Farben bemalten Scheiben aus Pappe aufschraubt. Die Scheiben werden zu ¾—1 Fuß Durchmesser genommen und vor dem Bemalen mit weißem Papiere beleimt. Als Farben sind am besten Indigo, Berlinerblau, Gummigutt und Carmin; Violet, Grün und Orange werden aus diesen gemischt. Will man weiß erhalten, so theilt man die Scheibe nach dem Verhältnisse der Farbenbreite im Spectrum und bemalt sie mit den genannten Farben, indem man nur dünn aufträgt. Die Scheibe wird beim schnellen Drehen schwerlich weiß d. h. grau geben, allein aus der Färbung, die sie zeigt, wird man erkennen können, welche Farbe verstärkt werden muß, um ein erträgliches Grau zu erhalten. Indigo und Carmin geben auf einer solchen Scheibe ein schönes Violet, wenn Carmin nur etwa 90 Grade umfaßt; ebenso erhält man mit etwa ebensoviel Gummigutt und Indigo grün. Es ist sehr zweckmäßig, das Centrum solcher Scheiben in einem Durchmesser von etwa 3 Zoll tief schwarz anzustreichen und auch ihren

Rand schwarz einzufassen. Statt die Scheiben zu bemalen, kann man sie mit bemalten Papieren bekleben; solche Papiere haben die Buchbinder in sehr gesättigten Farben für die Büchertitel. Anderes bemaltes Papier hat gewöhnlich matte Farben und taugt daher für diese Zwecke gar nicht. Einen eigenen Kreisel aus einer Bleiplatte mit eiserner, an der Spitze verstählter Axe hiefür anzuschaffen, nebst einer complicirten Vorrichtung, um ihn bequem in Bewegung setzen zu können, gehört wohl zum Luxus.

138 **Das Thaumatrop.** An eine Scheibe von Holz oder Pappe von circa zwei Zoll Durchmesser befestigt man diametral gegenüberstehend entweder zwei Bündelchen von je 4 — 6 leinenen oder seidenen Fäden, oder zwei Messingstifte. Die Scheiben werden beiderseits mit weißem Papiere bezogen, und nun die Theile einer Figur vereinzelt so auf beide Seiten gezeichnet, daß sie einander zur ganzen Figur ergänzen würden, wenn die Scheibe durchsichtig wäre. So geben die beiden Figuren 206 und 207 zusammen ein Kreuz; ebenso kann man die Buchstaben eines Wortes vertheilen. Man muß indeß einfache und kleine Figuren dazu wählen,

Fig. 206.

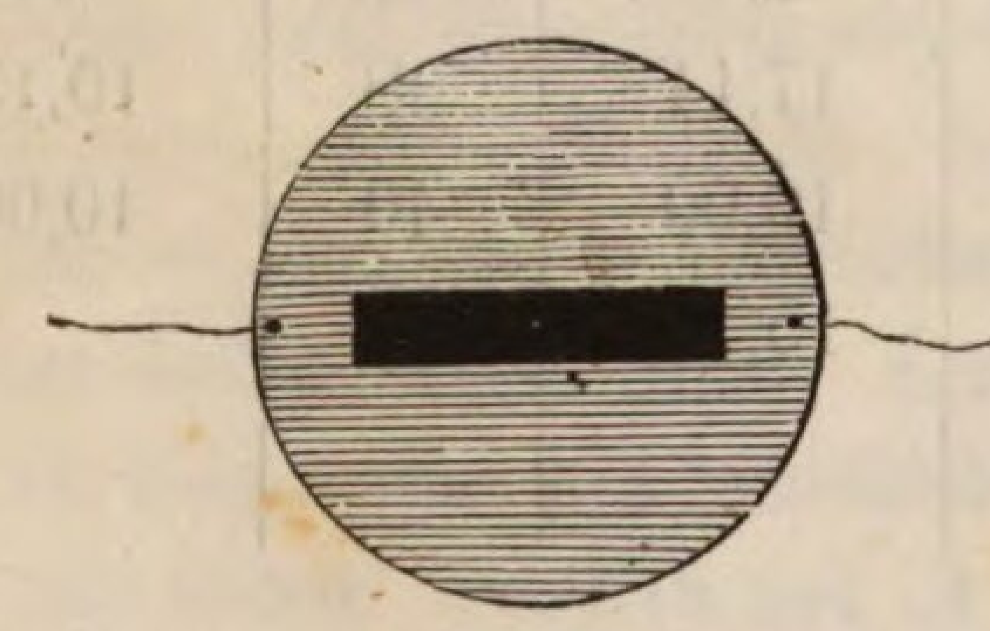
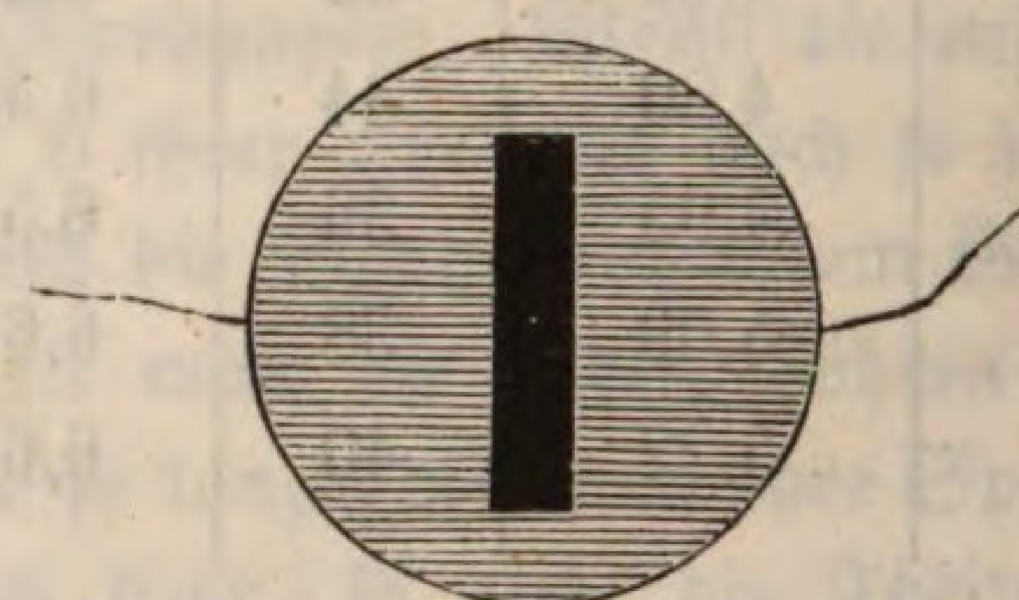


Fig. 207.



die nicht bis an den Rand der Scheibe reichen. Dreht man die Scheiben an den Fäden oder Stiften rasch zwischen den Fingern, so ergänzen sich die einzelnen Theile der Figur und man sieht einen Vogel im Käfich, wenn auf die eine Seite der Käfich auf die andere der Vogel gezeichnet wurde. Weniger gut erhält man das Instrument, wenn man eine Zeichnung entzweischneidet, und die beiden Hälften so mit der Rückseite auf einander leimt, daß Kopf und Fuß der Zeichnung auf einander liegen. In ein rundes Stückchen Holz sägt man nun einen Schlitz und leimt die Mittellinie der Zeichnung hinein; an beiden Enden erhält das Stückchen Holz Messingstifte. Dreht man diese rasch zwischen den Fingern, so sieht man die ganze Figur. Am einfachsten erhält man die Sache, wenn man, wie in Fig. 208, nur geradezu eine Spielkarte in der Mitte zusammenlegt und den Rücken beider Hälften zusammenleimt. Die Mitte wird dann etwa $1/2$ Linie tief in die Spalte des Hölzchens hineingeleimt.

Fig. 208.



Die stroboskopischen Scheiben. Das Princip, wonach die Zeichnung zu fertigen ist, ist einfach und allgemein bekannt. Man theilt nämlich die Zeit, welche zu einer vollständigen Bewegung der Maschine, der Figur, erforderlich ist, in so viel gleiche Theile, als die Scheibe, Fig. 209, am Rande Oeffnungen hat, und zeichnet die Figur in demjenigen Zustande, in welchem sie in jedem dieser Zeitpunkte sich befinden muß, unter die Oeffnung. Werden mehrere Zeichnungen verfertigt, so werden 139

Fig. 209.

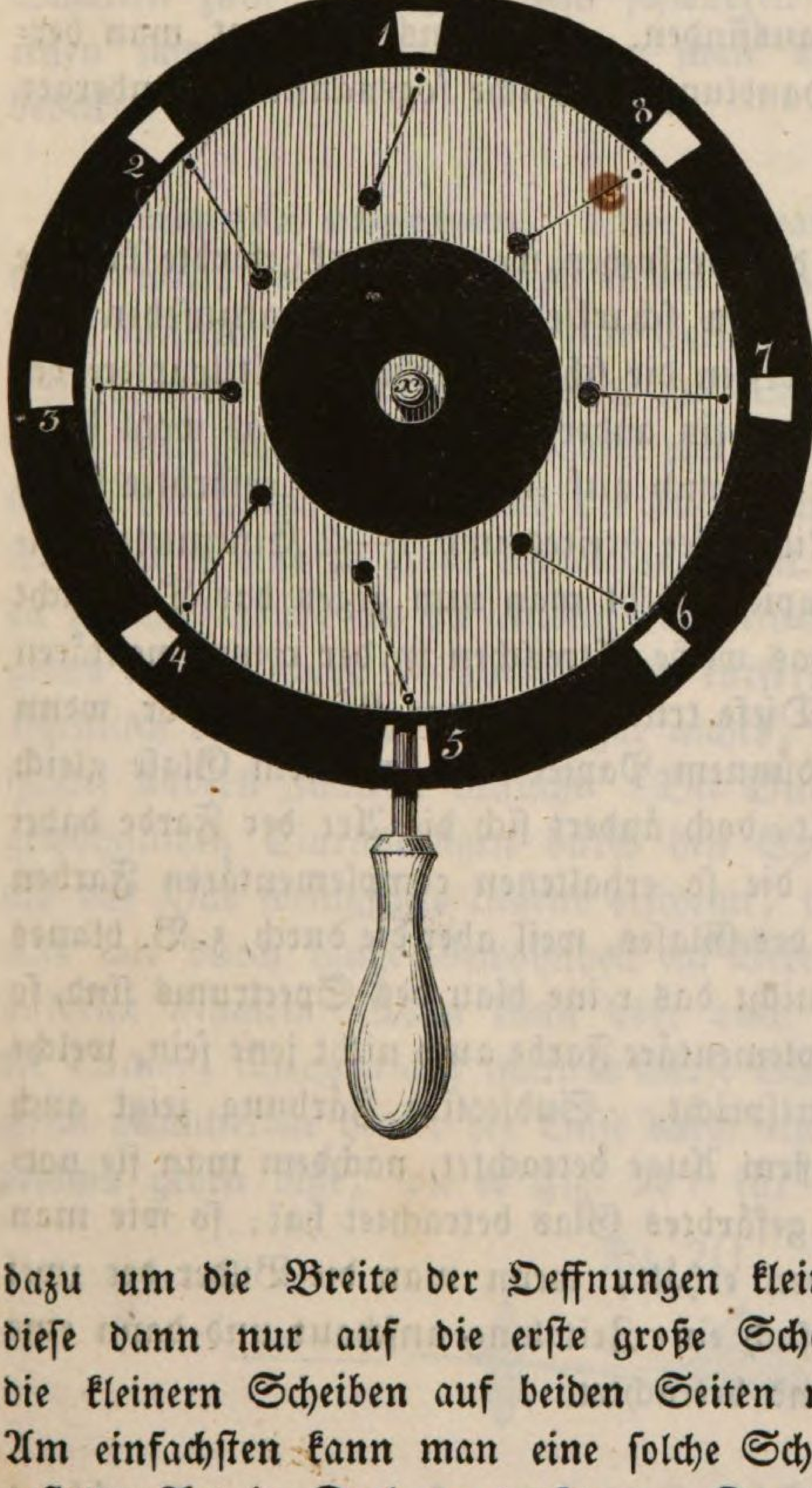
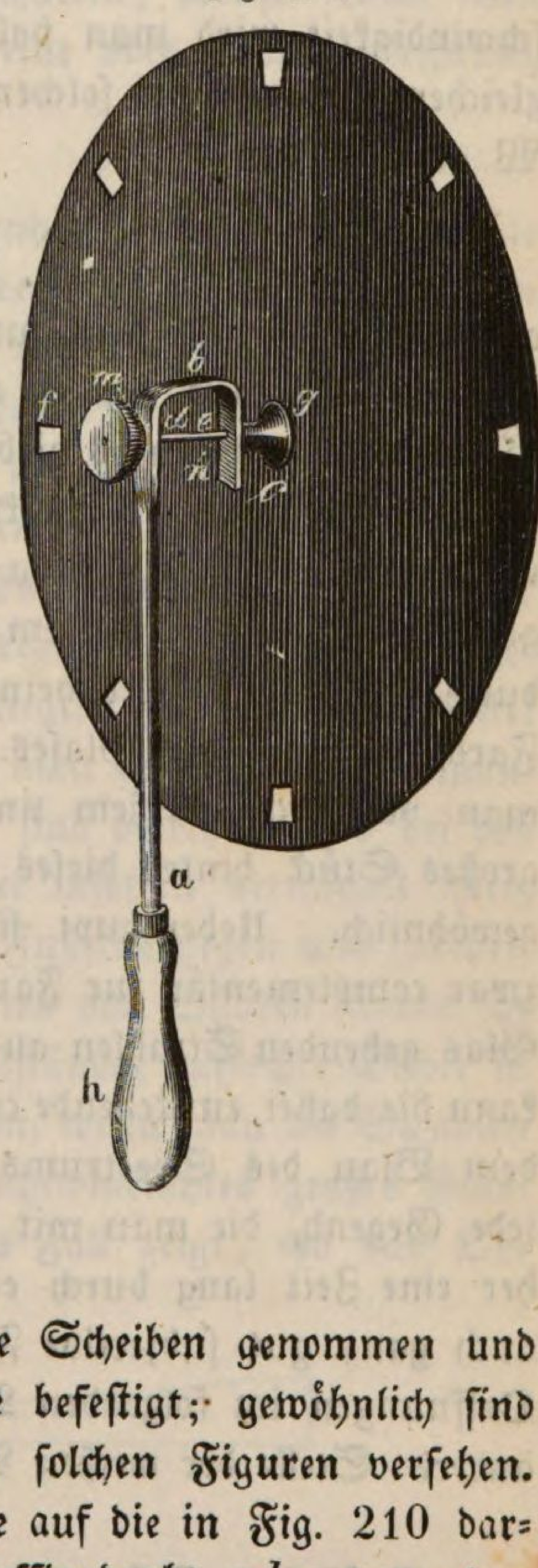


Fig. 210.



dazu um die Breite der Oeffnungen kleinere Scheiben genommen und diese dann nur auf die erste große Scheibe befestigt; gewöhnlich sind die kleinern Scheiben auf beiden Seiten mit solchen Figuren versehen. Am einfachsten kann man eine solche Scheibe auf die in Fig. 210 dargestellte Art in Drehung versetzen. Der Messingdraht *a b c* von etwa $1\frac{1}{2}$ Linien Dicke ist oberhalb etwas platt geschlagen, und gegen diese Fläche zweimal rechtwinklicht gebogen. Der glatte Eisendraht *d e* hat gerade die Dicke, daß er sich in den beiden durch den Messingdraht bei *m* und *n* gebohrten Löchern leicht drehen kann; er ist einerseits vierkantig gefeilt und darauf wird der hölzerne Knopf *f* gesteckt, andererseits hat er eine

Schraube mit verhältnißmäßig grobem Gewinde bis dicht an den Messingdraht; der hölzerne Knopf *g* ist an den Draht geschraubt. An diesen Draht steckt man die Pappscheiben und befestigt sie gegen den Knopf *g* durch eine messingene Mutter *X* Fig. 209; letztere kann nicht wohl von Holz gemacht werden, da sie oft auf- und zugedreht wird. An dem Knopfe *f* kann man die Scheiben beliebig drehen, während man sie an dem Handgriffe *h* in einer Entfernung von 2—3 Fußen gegen einen Planspiegel hält; das Auge wird dicht hinter die Scheibe gebracht, so daß die Oeffnungen vor demselben vorübergehen. Die passendste Geschwindigkeit wird man bald ausfinden. Uebrigens bekommt man dergleichen Apparate in solchen Handlungen, welche sogenannte Nürnberger Waaren halten.

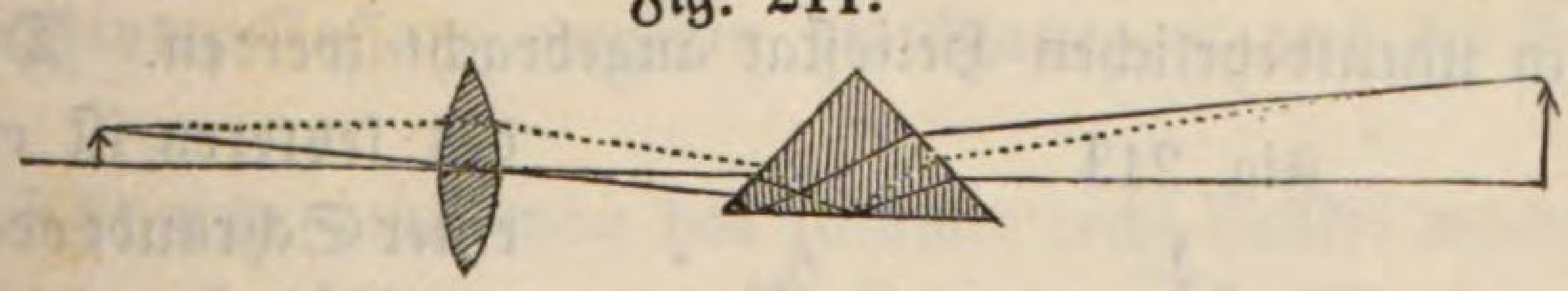
140 **Subjective Farben.** Zu den Versuchen, wo man stark gefärbte Papiere auf weißen Grund legt, um sie in scharfer Beleuchtung anzusehen und dann zu entfernen, taugen am besten die schon erwähnten Titelpapiere der Buchbinder. Allein es giebt noch ein anderes Verfahren, das wohl leichter ausführbar ist. Man klebt nämlich auf ein Stückchen gefärbtes Glas von reiner Farbe, ein etwa Millimeter breites und 1—2 Centimeter langes Streifchen von weißem Papier; sieht man nun gegen das Tageslicht durch das Glas, so erscheint das weiße Streifchen in der complementären Farbe zu jener des Glases. Diese tritt noch etwas stärker hervor, wenn man von recht weißem und dünnem Papier ein mit dem Glase gleich großes Stück hinter dieses hält, doch ändert sich die Art der Farbe dabei gewöhnlich. Ueberhaupt sind die so erhaltenen complementären Farben zwar complementär zur Farbe des Glases, weil aber die durch, z. B. blaues Glas gehenden Strahlen auch nicht das reine blau des Spectrums sind, so kann die dabei entstehende complementäre Farbe auch nicht jene sein, welche dem Blau des Spectrums entspricht. Subjective Färbung zeigt auch jede Gegend, die man mit bloßem Auge betrachtet, nachdem man sie vorher eine Zeit lang durch ein gefärbtes Glas betrachtet hat; so wie man auch ganz gut subjective Farben erhält, wenn man die Bilder der zwei Oeffnungen im folgenden Versuch eine Zeit lang anschaut und dann eine andere Stelle der weißen Wand betrachtet.

141 **Gefärbte Schatten.** Diese Erscheinung kann man ausgezeichnet auf folgende Art erhalten. In die Oeffnung des Heliostats macht man einen Schieber, in den man zwei Löcher bohrt, die etwa einen halben Zoll Durchmesser haben und deren Ränder 2—4 Linien von einander abstehen; die eine wird mit rothem, die andere mit blauem Glase bedeckt. Die Sonnenbilder dieser Oeffnungen fängt man 10—20 Fuß, vom Heliostat

auf einer weißen Wand auf, auf welcher sie sich dann großentheils überdecken, wodurch die überdeckte Stelle, je nach der Beschaffenheit der Farbe der Gläser, eine mehr oder weniger weißliche Färbung erhält. Ueberdecken wir die Bilder nicht genug, so kann man die Entfernung der Wand durch Reflexion von einem Planspiegel leicht verdoppeln. In die sich kreuzenden Lichtbündel stellt man auf geeignetem Stative einen dünnen Stift von Holz (Bleistift) auf, und erhält nun von diesem einen rothen und blauen Schatten. Ist der Bleistift näher an der Wand, so überdecken sich die Schatten zum Theil zu einem schwarzen Schatten; ebenso erhält man einen schwarzen Schatten, wenn man die eine oder andere Oeffnung bedeckt.

Camera obscura. Eine überraschend schöne Wirkung erhält 142
man, wenn man in den nach einem frequenten Platze gerichteten Laden eines dunkeln Zimmers selbst eine Convexlinse von 4—6 Fuß Brennweite einsetzt, und das Bild unmittelbar auf einer großen weißen Tafel auffängt. Man muß dabei freilich die Tafel theils nach der Entfernung der Gegenstände verrücken, theils nach der kugelförmigen Ausbreitung des Bildes, wenn dieses eine zu große Ausdehnung hat. Es ist daher dieses besonders da zu empfehlen, wo die Aussicht auf einen frequenten kleinern Platz gegeben ist, der schon 2—300 Schritte entfernt liegt. In dieser Form kostet eigentlich die Camera obscura gar nichts, da man beide Stücke zu mancherlei andern Zwecken braucht. Die Bilder sind verkehrt, was bei den gewöhnlichen Einrichtungen durch den Spiegel insofern vermittelt wird, als das Bild wenigstens liegend erscheint, die Fußseite gegen uns gekehrt, was wir durch lange Gewohnheit im Betrachten von Bildern immer für aufrecht nehmen. Man kann aber auch vollständig aufrechte Bilder in der Camera obscura auf mattem Glase erhalten, wenn man die Strahlen gleich unmittelbar hinter der Linse durch ein rechtwinklichtes großes Glasprisma gehen läßt, wie es Fig. 211 für den Fall zeigt, wo das Object näher am Glase liegt als das Bild; allein Prismen der Art von reinem Glase sind theuer, und es bleibt doch immer nur Spielerei.

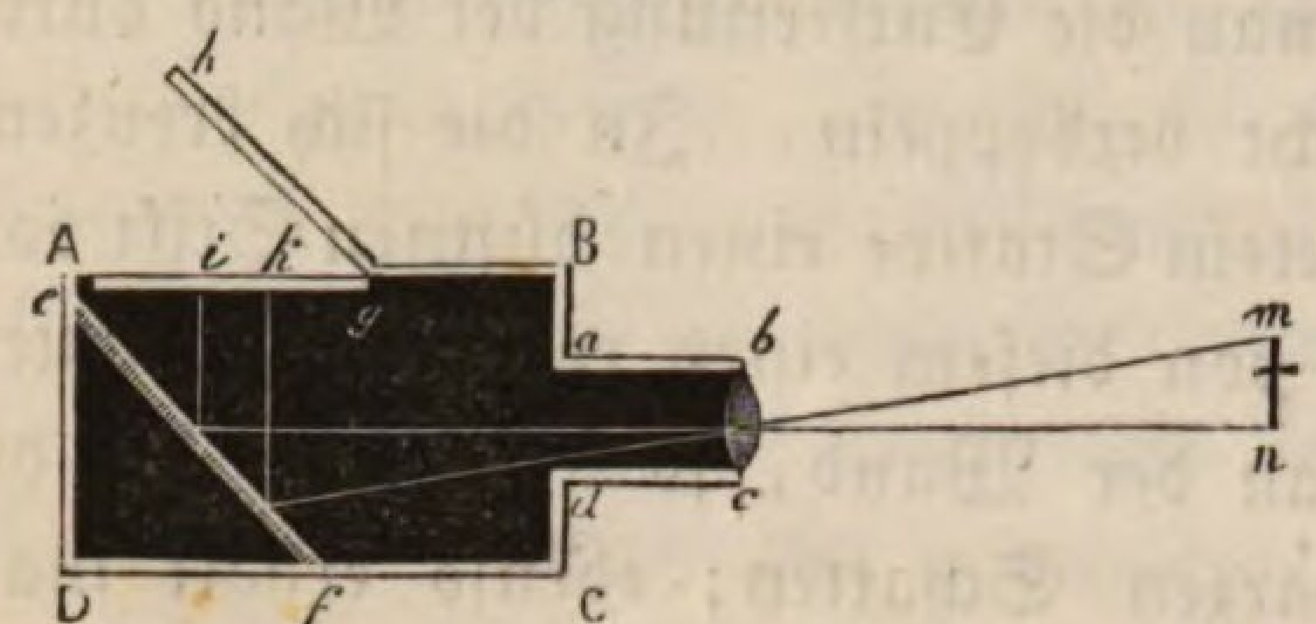
Fig. 211.



Eine Camera obscura gewöhnlicher Art, wie sie Fig. 212 (a. f. S.) zeigt, kann man sich übrigens leicht selbst machen, indem man vorn an dem hölzernen Kästchen, dessen Länge sich nach der Brennweite des Glases richtet, eine kurze Röhre aus Pappe anbringt, in welcher sich eine zweite

Papprōhre verschieben läßt, die das Converglas enthält. Der Spiegel macht mit der Axe des Kästchens einen Winkel von 45° und es wird ein guter Glasspiegel dazu ausgesucht. Das matte Glas wird von einem Spiegel genommen und mit einem zweiten Stücke Spiegelglas und feinem Smirgel mattgerieben. Für den Fall, daß man diese Einrichtung zum Nachzeichen verwenden will, ist es gut, den Deckel *gh* noch mit seitlichen Anhängen zu versehen, das matte Glas mit einer Spiegelscheibe zu vertauschen, auf diese mittelst etwas Wachs Strohpapier zu befestigen und auf dieses zu zeichnen.

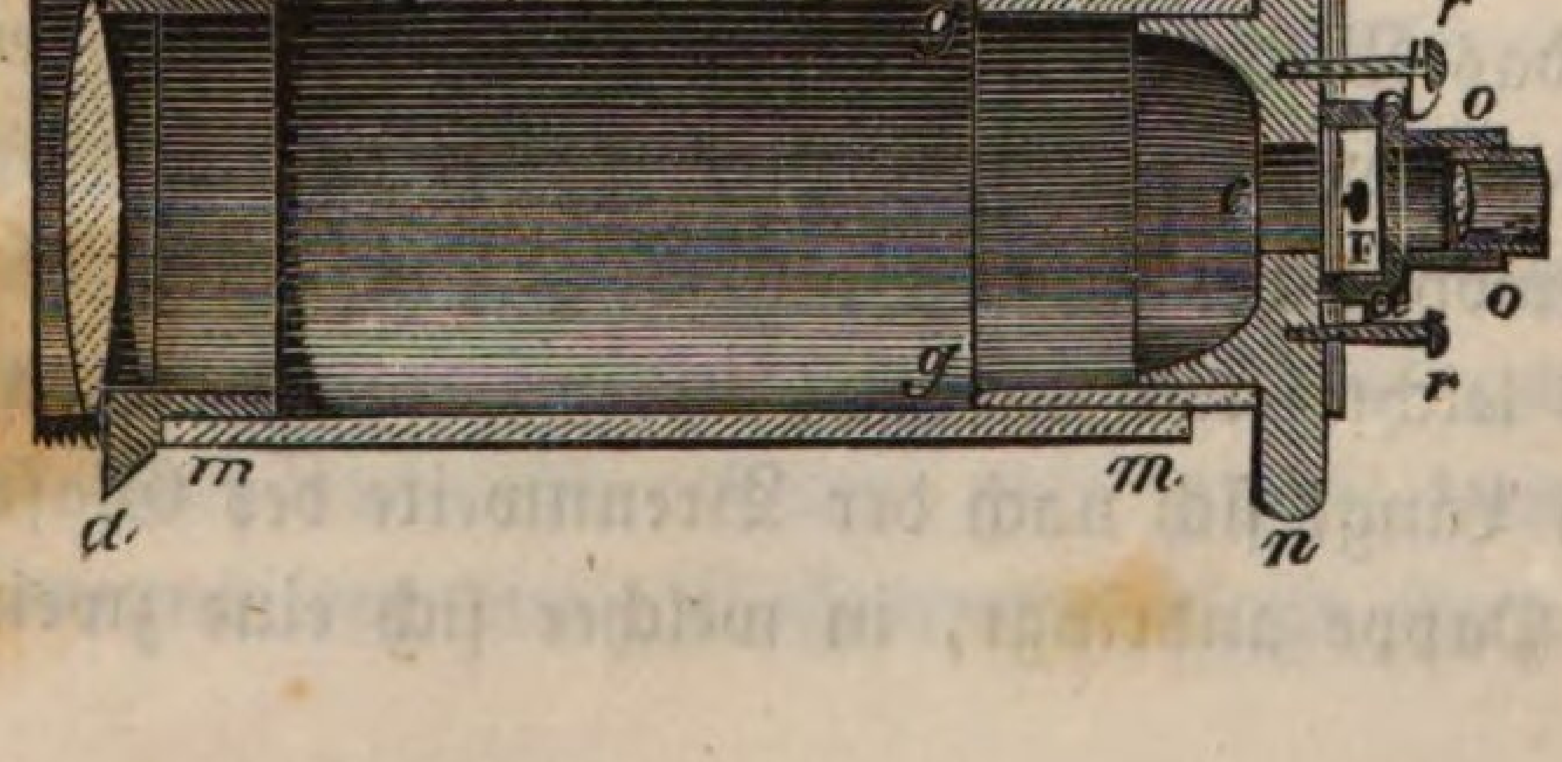
Fig. 212.



Es giebt nicht selten alte von Brander in Augsburg verfertigte und auch beschriebene Instrumente der Art, die, wie die Instrumente jener Zeit häufig, auch für die Praxis eine Art Universalinstrumente sein sollen, sie sind aber für die Praxis gar nichts. Für den Unterricht sind sie jedoch sehr wohl zu gebrauchen, indem man den Spiegel entfernen und das matte Glas auch in die Rückwand einsetzen kann. Sie haben ferner in dem Deckel *g h*, Fig. 212, eine Ocularröhre mit einem zweiten Converglase, wodurch man das Bild vergrößert betrachten, und also sehr bequem die Theorie des astronomischen Fernrohres daran erläutern kann. Ebenso bequem dienen sie zur Erläuterung der Theorie des zusammengesetzten Mikroskops und können sogar als Sonnenmikroskop gebraucht werden, sind also zur gelegenheitlichen Erwerbung für Anstalten, wo man über wenige Mittel zu gebieten hat, sehr zu empfehlen.

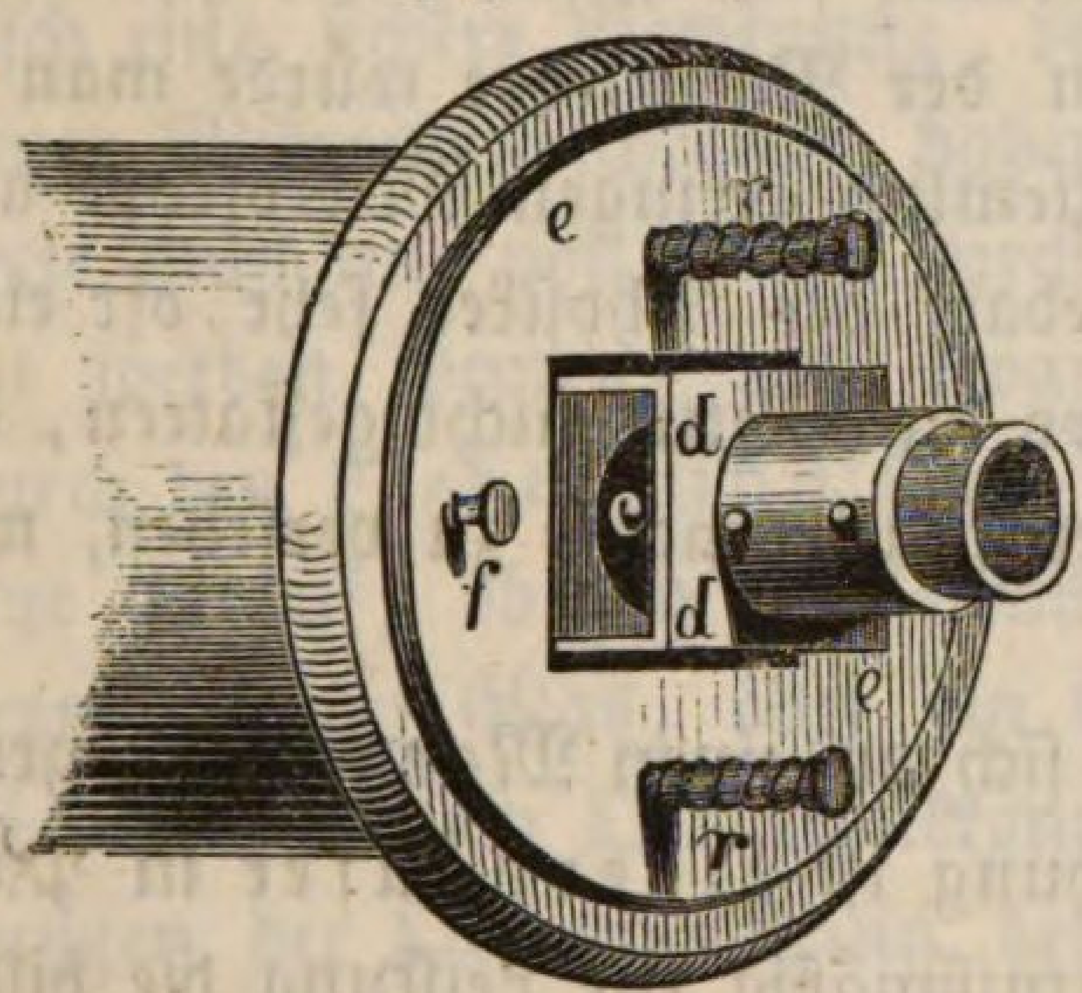
143 **Das Sonnenmikroskop.** Da dasselbe zu eigentlich mikroskopischen Untersuchungen nicht geeignet ist, so wäre es unzweckmäßig, größere Auslagen dafür zu machen, wenn man nicht über bedeutende Mittel zu gebieten hat. Aber zur Unterhaltung und zur Belehrung über die Wirkung der Linsengläser ist dasselbe sehr wohl geeignet, und kann auch leicht an dem ohnehin unentbehrlichen Heliostat angebracht werden. Die Oeffnung des letzteren ist entweder mit einer Schraube oder einer kurzen Röhre versehen; im ersten Falle wird ein breites Converglas von 4—6 Zoll Brennweite in eine hölzerne Fassung *a b*, Fig. 213, gebracht, und an diese eine Röhre aus Pappe *m m m m* befestigt, deren

Fig. 213.



Länge etwa einen Zoll weniger beträgt als die Brennweite des Glases. Hat der Heliostat keine Schraube, sondern eine kurze Röhre, so befestigt man das Converglas unmittelbar in die Papprohre *m m*, indem man noch einen Ring von Pappe, etwa 1/4 Zoll vom Ende leimt, auf diesen das Glas legt und dieses, wie in der hölzernen Fassung, durch einen vorgelegten Drahtring befestigt; diese Röhre muß dann in jene am Heliostat passen. In die Röhre *m m* muß eine zweite *g g* passen (von alten Fernröhren kommt man leicht zu solchen Röhren), in welcher die hölzerne Fassung *n n* steckt, die in Fig. 214 in größerem Maaßstabe dargestellt ist.

Fig. 214.



Sie hat in der Mitte eine Oeffnung *c* und über dieser das zweimal rechtwinklicht gebogene Blech *d d*; auch dieses hat in der Mitte eine Oeffnung und trägt die kurze Röhre *o o*. Letztere muß so weit sein, daß man die Objectivlinsen hineinstecken kann. Da man nämlich doch darauf sehen muß, ein gutes zusammengesetztes Mikroskop zu erhalten, so nimmt man die achromatischen Linsen desselben und fertigt kurze Röhrchen aus Pappe, in welche man die Fassung der Linsen einschrauben kann; sie halten hinreichend fest darin ohne hölzerne oder messingene Fütterung; diese Röhrchen nun müssen in die Röhre *o o* passen, und sich bis auf den Grund derselben schieben lassen; es ist sogar zweckmäßig, wenn die Oeffnung im Bleche *d d* so weit ist als die Röhre *o o*. Alle inneren Theile sind mit Tusche schwarz anzustreichen. Ueber das Blech *d d* wird eine Platte *e e* mit quadratischem Ausschnitte gestreift, sie hat zwei Knöpfe *f*, um sie bequem fassen zu können, und außerdem zwei Löcher, durch welche die Schrauben *r r* in die Fassung *n n* geschraubt sind; um diese Schrauben liegen zwei Spiralfedern aus hart gezogenem Messingdraht (Klavierseiten), welche die Platte *e e* gegen die hölzerne Fassung drücken. Die zu vergrößernden Gegenstände werden in passender Fassung zwischen die Platte *e e* und die Fassung *n n* gebracht.

Beim Gebrauche muß man das Zimmer recht dunkel machen und die Bilder entweder auf eine ebene gegenüberstehende weiße Wand werfen, oder dazu einen großen Rahmen mit weißem Papiere beziehen; letzteres ist vorzuziehen, da man dann die Bilder in verschiedener Entfernung auffangen kann. Trockene Gegenstände werden in den gewöhlichen Objectenschiebern eingebracht; Flüssigkeiten aber als Tropfen auf einem Stückchen Spiegelglase, oder für die meisten Fälle besser in einem hölzernen Schieber, in welchem zwei Plättchen von dünnem Spiegelglase, welche etwa 1—3 Mil-

limeter Abstand haben, eine Art von kleinem Troge bilden. Die Röhre *gg* wird so weit in *mm* geschoben, daß trockene und todte Gegenstände im Brennpunkte der Beleuchtungslinse stehen; für lebende Gegenstände oder Flüssigkeiten muß man auf eine so starke Beleuchtung verzichten, weil die Hitze hinderlich würde, und daher die Röhre *gg* tiefer einschieben. Die Linse ist leicht in die der weißen Wand entsprechende Entfernung vom Gegenstande zu bringen.

144 **Das zusammengesetzte Mikroskop***). Bei dem Ankaufe eines solchen Instrumentes muß man durchaus darauf sehen, ein gutes zu kaufen. Für den bloßen Zweck des Unterrichtes in der Naturlehre würde man im Allgemeinen allerdings auch mit einem ziemlich geringen Mikroskope ausreichen, allein zur eigenen Fortbildung bedarf der Physiker sehr oft eines guten Instrumentes, und an Anstalten, wo die Mittel nicht gestatten, den Lehrer der Naturgeschichte mit einem eigenen Instrumente zu versehen, muß auch auf ihn Rücksicht genommen werden.

Kauft man daher neu, so muß man sich an einen Mann von gegründetem Rufe wenden, und in dieser Beziehung ist Oberhäuser in Paris zu empfehlen, da seine Instrumente verhältnißmäßig zur Leistung die billigsten sind. Manchmal kann man gelegenheitlich ein Mikroskop kaufen; allein in solchem Falle sei man nicht zu voreilig, und betrachte vor allem einen Gegenstand durch dasselbe, den man schon öfter unter andern Mikroskopen, deren Preise man kennt, gesehen hat. Selbst diesem ist aber nicht immer zu trauen, da die Erinnerung leicht täuscht, und nur unmittelbare Vergleichung mit einem aus guter Werkstätte bezogenen Instrumente läßt ein sicheres Urtheil über den Werth eines andern zu. Als Objecte für solche Vergleichungen sind die Schuppen von Bombyx Mori oder von Lepisma saccharinum, besonders aber letztere, dann für sehr gute Instrumente von Hipparchia Janira fem. zu wählen. Man lasse sich ja nicht durch Objecte täuschen, die der Verkäufer mit vorlegt, denn wenn diese sehr schön präparirt sind, kann man sich über die Wirkung des Instrumentes arg täuschen. Eine Mikrometerskale von Nobert in Greifswalde ist als Object zur Untersuchung der Güte eines Mikroskopes wohl brauchbar, da sie 10 Gruppen von je 10 Linien enthält und man nun untersuchen kann, bis zur wie vielten Gruppe die einzelnen Linien durch das Instrument unterschieden werden können, wobei allerdings, wie bei dem Mikroskope überhaupt, viel von der Stellung des Spiegels abhängt und von der Tiefe der Linien, die nicht auf allen Skalen gleich sein können. Ein solches Mikrometer ist aber

*) Die Art, wie die Theorie des Mikroskops erläutert wird, soll unter dem Artikel Fernrohr abgehandelt werden.

theuer, und für Vergrößerungen unter 100*) nicht mehr wohl brauchbar, indem schon bei der ersten Skale die Pariser Linie in 1000 Theile getheilt ist. Bei der Beurtheilung eines Mikroskops kommt es aber außer der Vergrößerung und der Klarheit und Schärfe der Bilder auch noch auf die Größe des Sehfeldes an, und man muß bei der Vergleichung zweier Instrumente nie versäumen, darauf Rücksicht zu nehmen.

Die optische Wirkung ist immer die Hauptsache, allein der Preis richtet sich auch nach der äußern Ausrüstung. In dieser Beziehung muß man darauf sehen, ob entweder der Körper des Instruments, oder der Objectentisch eine sichere Bewegung, bei stark vergrößernden Instrumenten mittelst einer Mikrometerschraube, haben. Ferner ist darauf zu sehen, ob die Objecte nicht nur von unten durch den Spiegel, sondern auch von oben beleuchtet werden können, und zwar durch eine seitliche Convexlinse, und nicht durch den Lieberkühn'schen Spiegel, der bei weitem weniger werth ist, und darauf, ob ein Ocularmikrometer vorhanden sei, oder ein Objectivmikrometer auf Glas, oder ein Schraubenmikrometer; für den gewöhnlichen Gebrauch ist ein Ocularmikrometer sehr bequem, nur müssen die Vergrößerungen der Objective dann bekannt sein; Objectivmikrometer sind für die Bestimmungen der Vergrößerungen zwar noch bequemer, allein die feinen Theilstriche derselben beschmutzen sich beim Gebrauche mit verschiedenen Objecten bald und verlieren ihre Durchsichtigkeit; Schraubenmikrometer sind nicht bei allen Gegenständen anwendbar, können aber die größte Genauigkeit geben. Endlich muß das Instrument einen festen Stand und ein passendes Futteral haben. Ist es auch zum horizontalen Gebrauch eingerichtet, so bietet es eine Bequemlichkeit mehr. All dieses und noch mehr die vielen kleinen, aber meist gänzlich unnöthigen Apparate, die man bei Mikroskopen findet, kommt erst in zweiter Linie in Betracht, hat aber auf den Preis einen bedeutenden Einfluß und erhöht die Brauchbarkeit wesentlich.

Die Wirkung eines Mikroskops wird bedeutend erhöht, wenn der Objecttisch eine nur wenig größere Oeffnung hat als das Sehfeld beträgt. Da aber dieses nach den Vergrößerungen wechselt, und der Objectträger für manche specielle Zwecke auch einer weitern Oeffnung bedarf, so muß man im Stande sein, Blendungen mit verschiedenen nach unten sich erweiternden Oeffnungen in denselben einzulegen. Sind diese nicht schon vorhanden, so lassen sie sich leicht machen; es ist dabei nur zu bemerken, daß der Rand der Oeffnung dünn auslaufen, aber glatt ausgebohrt sein muß, auch muß derselbe, sowie die obere ganze Fläche geschwärzt werden, wenn die Platte von Metall

*) Nach Robert unter 72.

ist, wie es bei den oft nadelfeinen Oeffnungen nicht anders sein kann.

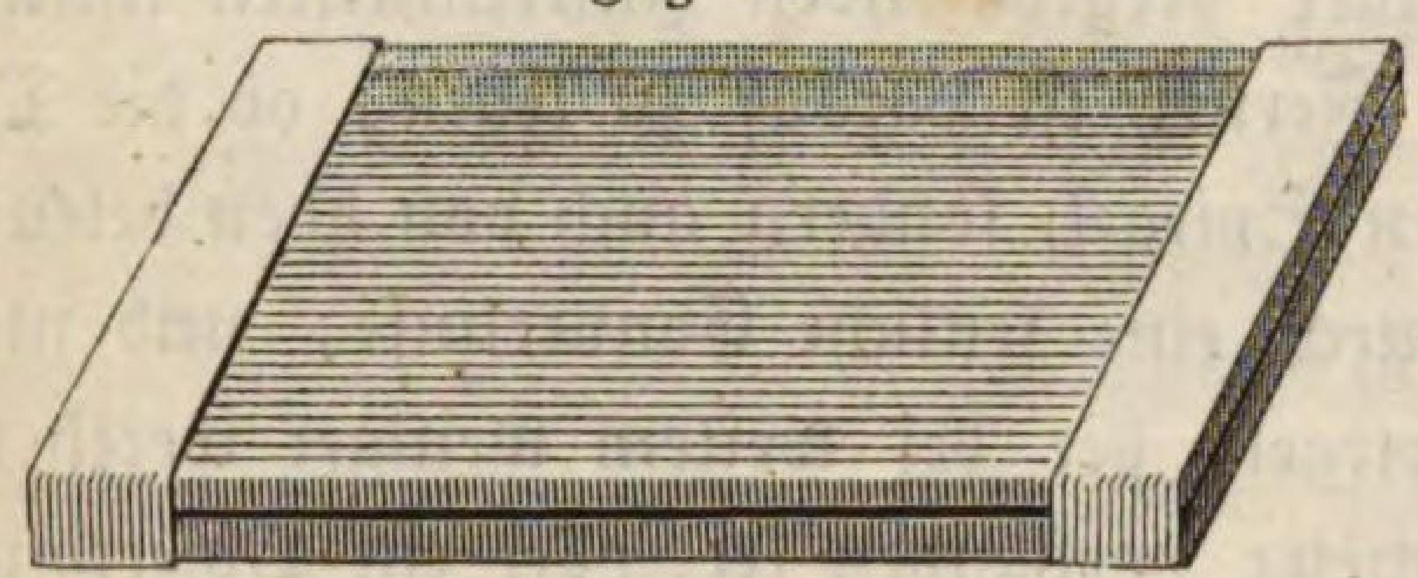
Fig. 215.



Blenden mit Oeffnungen von einer Linie und darüber macht man aus Ebenholz. Fig. 215 zeigt eine solche Blendung zum Einlegen in die Oeffnung des Objectträgers in ihrer Stellung.

Eine unentbehrliche Beigabe sind einige viereckige Stückchen von Spiegelglase, die am Rande abgeschliffen werden, um durchsichtige Gegenstände entweder in Wasser oder trocken darauf zu legen. Vorräthige zur Demonstration bestimmte Objecte legt man am besten zwischen zwei solche Platten, die am Rande mit Papier umklebt werden, worauf die Bezeichnung des Gegenstandes kommt, etwa wie Fig. 216. Eine der Platten muß aus möglichst dünnem Glase bestehen, damit man die Objective den Gegenständen gehörig nähern könne, was besonders für combinirte Objective der Fall ist. Bei manchen kleinen transparenten Gegenständen kann man auch auf die eine Platte zuerst einen Tropfen Canadabalsam bringen, das Object darauf legen, sodann die Platte etwas erwärmen und das Object in den Balsam eindrücken, worauf man durch Auflegen der zweiten Platte den Balsam auseinanderdrückt. So behandelte Objecte sind außerordentlich transparent; sie müssen aber vor dem Einlegen wenigstens äußerlich wohl trocken und der Balsam sehr dünnflüssig sein, weil die Feuchtigkeit sich sonst in Tröpfchen um dieselben lagert, auch Luftbläschen sind schwer zu vermeiden, doch gelingt es durch seitliches Drücken an verschiedenen Stellen wohl, sie nach und nach zu entfernen.

Fig. 216.



Größere Insecten, wie Flöhe u. drgl., die zu bloßen Schaustücken bestimmt sind, werden mit einer Lanzette am Hinterleibe geöffnet, sodann vom Kopfe an nach Hinten wiederholt ausgedrückt, und die hervorquellenden Theile sorgfältig entfernt. Man erhält so die leeren Panzer dieser Thiere, welche bei mäßiger Vergrößerung namentlich aber im Sonnenmikroskope eine überraschende Wirkung machen.

Zur Beleuchtung der Objecte ist das reflectirte Licht weißer Wolken oder weißer Häuser vor allem zu empfehlen; directes Sonnenlicht kann nicht angewendet werden, wohl aber mit vielem Vortheile das Licht einer gut brennenden Lampe mit doppeltem Luftzuge. Letzteres ist besonders für die Beleuchtung der Objecte von oben zu empfehlen.

Für den Gebrauch wird zuerst nöthig, daß man die einzelnen Vergrößerungen des Instrumentes kennen lerne, wenn es auch nur deswegen

wäre, um stets die passende Combination auswählen zu können. Auf die Angaben der Verkäufer kann man nicht wohl gehen; auch von sonst bewährten Künstlern wird hier gerne in runden Zahlen zuviel angegeben. Den Versuch die Vergrößerung aus den Brennweiten zu berechnen, kann man wohl einmal zur Uebung machen, allein man wird sehr bald erkennen, daß die möglichen Fehler der Messungen bei den Brennweiten und den Abständen der Objecte einen viel zu großen Einfluß auf das Resultat haben, als daß man auch nur einigermaßen Zuverläßiges erwarten dürfe. Es bleibt hiebei nichts Anderes übrig, als die directe Vergleichung. Man legt hiezu ein Object von bekannter Größe, entweder eine auf Glas geschnittene Mikrometerskale, oder ein mittelst eines Schraubenmikrometers oder sonst genau gemessenes Object in das Instrument, betrachtet dasselbe mit dem einen Auge, während das andere auf einen durch starke Linien auf weißes Papier gezeichneten Maaßstab gerichtet ist, den man in die Entfernung des deutlichen Sehens bringt. Nach einiger Uebung bringt man es dahin, beide Bilder deutlich zu sehen, so daß das eine das andere deckt, und man also ablesen kann, wie viele Theile des Maaßstabes vom Objecte eingenommen werden. Allein gerade dieses Ablesen ist das schwierigste, weil die beiden Bilder sich stets über einander verschieben; der Uebelstand wird übrigens um so geringer, je kleiner das Object ist, das man vergleicht. Daß man es nicht bei einem Versuche beläßt, sondern denselben wiederholt, um das Mittel aus mehreren zu erhalten, versteht sich wohl von selbst, so wie daß man die erhaltene Vergrößerung auf die Weite des normalen deutlichen Sehens reduciren müsse, wenn der Beobachter den Maaßstab nicht auf 10 Zoll Entfernung beobachten kann. Man könnte zwar die Brille zu Hülfe nehmen, um diese kurze Rechnung zu umgehen, allein das gäbe zu Fehlern anderer Art Veranlassung. Zehn Zolle legen die Optiker gewöhnlich als Distanz des deutlichen Sehens zu Grunde, wenn sie die Vergrößerungszahl angeben, obwohl man sonst gewöhnlich nur 8 Zolle annimmt; aber die Vergrößerungszahl wird dadurch namhaft erhöht, was übrigens an sich gleichgültig ist, wenn diese Zahl nur richtig und die Distanz angegeben ist.

Hat man alle Objective (wenn sie trennbar sind, nur in den vom Verfertiger angegebnen Combinationen) mit dem schwächsten Oculare — welches ohnehin in der Regel zu gebrauchen ist — durch gemessen, so bestimmt man auf gleiche Weise bei unverändertem schwachen Objective die Vergrößerungen für die einzelnen Oculare, und leitet daraus den Coefficienten ab, mit dem die Vergrößerung des schwächsten Oculars zu multipliciren ist, um die übrigen zu erhalten, und bringt dann alles in eine Tabelle mit doppeltem Eingange, etwa nach folgendem Muster, wo natürlich die Vergrößerungen der stärkeren Oculare mit den übrigen Objectiven nur berechnet werden.

Objective, das Vorderste gegen das Auge.	Ocular Nr. 1,	Ocular Nr. 2, Coeffic.=	Ocular Nr. 3, Coeffic.=
1			
2,1			

Bei einem Ocularmikrometer hat man nur die Objectivvergrößerung zu bestimmen, sie ergiebt sich einfach durch Betrachtung eines Objects von bekannter Größe, aus der Zahl der Theile, welche es auf dem Ocularmikrometer einnimmt. Das Ocularmikrometer hat die Unbequemlichkeit, daß seine Lage im Instrumente sich nach der Weite des deutlichen Sehens des Beobachters richtet und daher erst gesucht werden muß. Vom Optiker ist es gewöhnlich auf die mittlere Sehweite gerichtet. In der Regel wendet man die stärkern Oculare nur dann an, wenn man die Vergrößerung wechseln will, ohne an dem Objecte zu rücken.

Was nun die Erhaltung des Instrumentes betrifft, so hat man dasselbe vor allem vor Staub zu bewahren; zu dem Ende bedeckt man es mit einer großen Papierdüte, wenn man genöthigt ist, dasselbe offen stehen zu lassen; für gewöhnlich sollte es aber in seinem Kästchen verwahrt sein, damit man so wenig als möglich in den Fall komme, die Gläser zu putzen. Hat sich ja etwas Staub auf dieselben gesetzt, so kehrt man diesen mit einem eigens hiezu bestimmten, beim Mikroskope verwahrten feinen Haarpinsel weg. Nur wenn sich ein nebliger Anflug auf die Gläser gelegt hat, putzt man dieselben mit feinem Handschuhleder, nachdem der Staub vorher mit dem Pinsel weggekehrt ist, letzterer würde sonst leicht Risse auf dem Glase veranlassen. Besser noch, als Leder, ist ein Stückchen feine alte Leinwand, die man selbst in reinem Wasser ohne Seife wäscht, und dann in Wasser taucht, in welches man etwa 10—20 Minuten vorher Kreidepulver gerührt hatte, worauf sie getrocknet wird. Auch diese Leinwand, sowie das Leder, wird in Papier gewickelt besonders für diesen und ähnliche Zwecke aufbewahrt. Außer Leder und Leinwand ist Hollundermark ein vortreffliches Putzmittel, besonders um in die Ecken der Fassungen zu gelangen. Man putzt ein Federmesser zuerst auf dem Marke selbst ab, macht dann damit einen frischen Schnitt an demselben, und entfernt auch die harten Ränder. Sollten die achromatischen Objective nicht vernietet oder verkittet sein, so kann sich auch zwischen diese Unreinigkeit einschleichen, allein wenn man ja genöthigt wäre, sie auseinander zu nehmen, so muß dieses mit der größten Vorsicht geschehen, und man muß noch vorher danach sehen, ob

auch ihre gegenseitige Lage auf ihnen gezeichnet ist, und dieses allenfalls mit einem feinen Diamantstriche thun, wenn es nicht der Fall sein sollte *).

Jedes zusammengesetzte Mikroskop läßt sich übrigens auch als Sonnenmikroskop gebrauchen, wenn man im dunkeln Zimmer einen Sonnenstrahl stark von Oben auf den Beleuchtungsspiegel leitet. Das Bild wird an der Decke des Zimmers aufgehangen.

Fernröhren. Die Theorie derselben läßt sich sehr gut auf dem 145
Gestelle Fig. 184 erläutern, wo man die entstehenden wirklichen Bilder auf Schirmen auffangen kann. Die erforderlichen Linsen werden in gestielten hölzernen Fassungen auf die Hülsen *P P* gesteckt, als Object kann wieder dieselbe Lampe dienen, oder auch irgend ein anderer entfernter Gegenstand. Hat das Gestell gerade die Höhe, daß man Sonnenlicht mittelst des Heliostats parallel mit dem Balken auf das als Objectiv dienende Glas fallen lassen kann, so kann man den Weg der Lichtstrahlen in dem nie fehlenden Staube sehr gut sehen. Man kann auch an einem Fernrohre die Oculare enfernen, und statt derselben eine kurze innen geschwärzte Pappröhre aufsetzen und die vorhandenen Bilder geradezu betrachten, oder an einer passenden Stelle der Röhre ein mattes Glas oder Strohpapier anbringen, um die Bilder darauf entstehen zu lassen.

Was die Anschaffung eines Fernrohres betrifft, so muß man darauf sehen, ein gutes achromatisches Erdfernrohr von 10—20maliger Vergrößerung zu erhalten, um es bei den Beugungsversuchen gebrauchen zu können. Ein Plößl'scher Feldstecher von 8—12maliger Vergrößerung dient hiezu auch, ist aber ziemlich theuer. Eine sogenannte Baumschraube kann man dazu machen lassen, sie ist für Beugungsversuche sehr bequem.

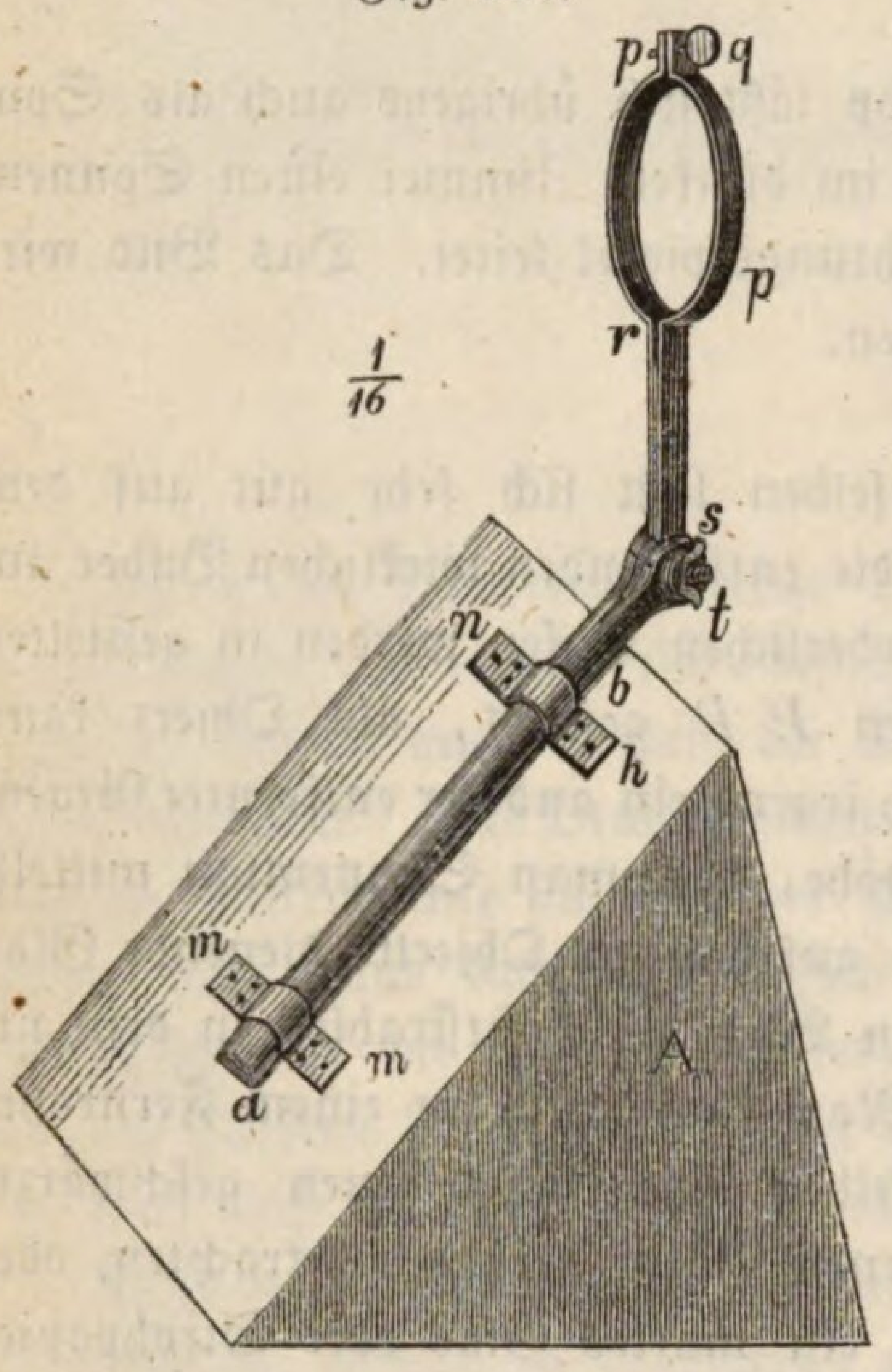
Reichen die Mittel, um ein astronomisches Fernrohr anzuschaffen, so muß dieses mindestens so viel leisten, daß man den Saturnsring dadurch deutlich erkennen kann; weniger hat keinen Zweck und die Ausgabe wäre daher vergeblich.

Will man dem Fernrohre eine parallactische Aufstellung geben, so läßt sich dieses leicht machen, wenn man auf einem der Polhöhe des Ortes gemäß geformten Klotze *A*, Fig 217 (a. f. S.), eine eiserne Axe *ab* halb einläßt und durch die aufgeschraubten messingenen Bänder *m m n n* mit der erforderlichen Reibung so fest hält, daß sie durch das Gewicht des

*) Einen solchen Diamant, der nicht in das Glas schneidet — einen sogenannten Krätzer — kann man in gar vielen Fällen brauchen; ist er auf einem dünnen Stahlstifte gefaßt, so kann er auch zum Bohren in Glas verwendet werden. Sie sind ziemlich wohlfeil.

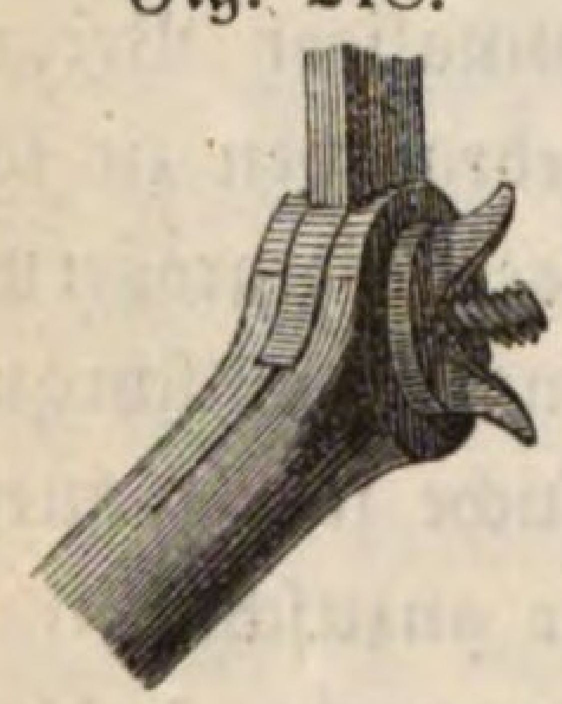
Fernrohrs nicht gedreht werden kann.

Fig. 217.



Mit dieser Axe ist durch ein Gelenk s der Ring $p\ p$ verbunden; er ist gerade so weit, daß er in der Gegend des Schwerpunktes des Fernrohrs dieses umfassen und durch die Schraube q festhalten kann; eine Hälfte desselben ist bei r mit einem Gelenke versehen, oder der Stiel ist eine Strecke weit eingesägt. Die Flügelschraube t dient dazu, die Reibung im Gelenke s, welches in Fig. 218 vergrößert gezeichnet ist, auf das gehörige Maaß zu bringen, und die Axe $a\,b$ ist darum ebenfalls eine Strecke weit eingesägt, damit sie etwas federn kann. Den Klotz A stellt man beim Gebrauche auf die horizontal gestellte Platte eines Meßtisches und er ist zu dem Ende auf seiner Standfläche mit wollenem Tuche beleimt; daß die Axe $a\,b$ in der Meridianebene liegen müsse, ist für sich klar. Diese Aufstellungsweise ist für die Beobachtung der Gestirne auch in der angegebenen einfachen Gestalt sehr bequem, besonders wenn es sich nicht um Gestirne zwischen Pol und Zenith handelt; ist nämlich einmal der Stern im Fernrohre, so stellt man das Gelenk s fest und es kann nun auch ein ungeübter Beobachter das Fernrohr stets dem Sterne nach führen, da dieses sich nur noch um die Axe ab, also in einem mit dem Aequator parallelen Kreise drehen kann. Hat ein Fernrohr einen gewöhnlichen Dreifuß mit senkrechter Säule als Gestell, so darf man nur den Dreifuß abschrauben, und die Säule selbst statt $a\,b$ unbeweglich auf den Klotz A befestigen.

Fig. 218.



Bei dem Ankaufe eines Fernrohrs gilt dasselbe, wie beim Mikroskope; man muß entweder nur aus bewährter Hand kaufen, oder nach sorgfältiger Vergleichung mit einem aus einer ausgezeichneten Werkstätte stammenden Instrumente, dessen Preis man kennt. Die Vergrößerung kann, wenn sie nicht bedeutend ist, in der Art bestimmt werden, daß man die Hohlziegel auf dem Firste eines Daches mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem andern unbewaffnet ansieht; beide Bilder decken sich, und man kann dann beurtheilen, wie viele mit freiem Auge gesehene Ziegel von

einem durch das Fernrohr gesehenen bedeckt werden. Auch hier verschieben sich die Bilder stets übereinander und das Abschätzen bedarf einiger Uebung. Allerdings giebt es Methoden, welche für jede Vergrößerung geeignet sind und genauere Resultate liefern, sie erfordern aber eigene Apparate und sind für die Verhältnisse, auf welche in gegenwärtiger Anleitung Rücksicht genommen ist, um so weniger erforderlich, als es bei der Bestimmung des Werthes eines Fernrohrs weniger auf die Vergrößerung, als auf die Helligkeit und Schärfe der Bilder ankommt. Das einfachste Mittel aber, zwei Instrumente in dieser Beziehung zu vergleichen, besteht darin, daß man untersucht, in welcher Entfernung durch jedes derselben die nämliche Druckschrift gelesen werden kann. Man nimmt hiezu einen scharfen Druck von Cicero Fractur auf glattem weißen Papiere. Da Fernröhren aller Art ein sehr verbreiteter Gegenstand sind, so hat man sehr oft Gelegenheit solche Vergleichungen anzustellen, und man erwirbt sich dadurch bald ein sicheres Urtheil über deren Güte und Werth auch ohne Vergleichung, wenigstens für geringere Vergrößerungen. Von großen Instrumenten für astronomische Zwecke ist aber hier nicht die Rede.

Daß außer der optischen Wirkung auch noch die mehr oder minder schöne und zweckmäßige Ausrüstung zu berücksichtigen sei, versteht sich von selbst, allein es läßt sich hierüber im Allgemeinen Nichts bestimmen; nur darauf muß man sehen, daß die Auszüge und die beweglichen Theile des Stativs, wenn ein solches vorhanden, sichere und sanfte Bewegung haben. Eine Vorrichtung zum feinen Einstellen des Oculars ist für Vergrößerungen von 30mal und darüber schon sehr nothwendig.

Ueber die Erhaltung solcher Instrnmente gelten dieselben Vorschriften, wie beim Mikroskope.

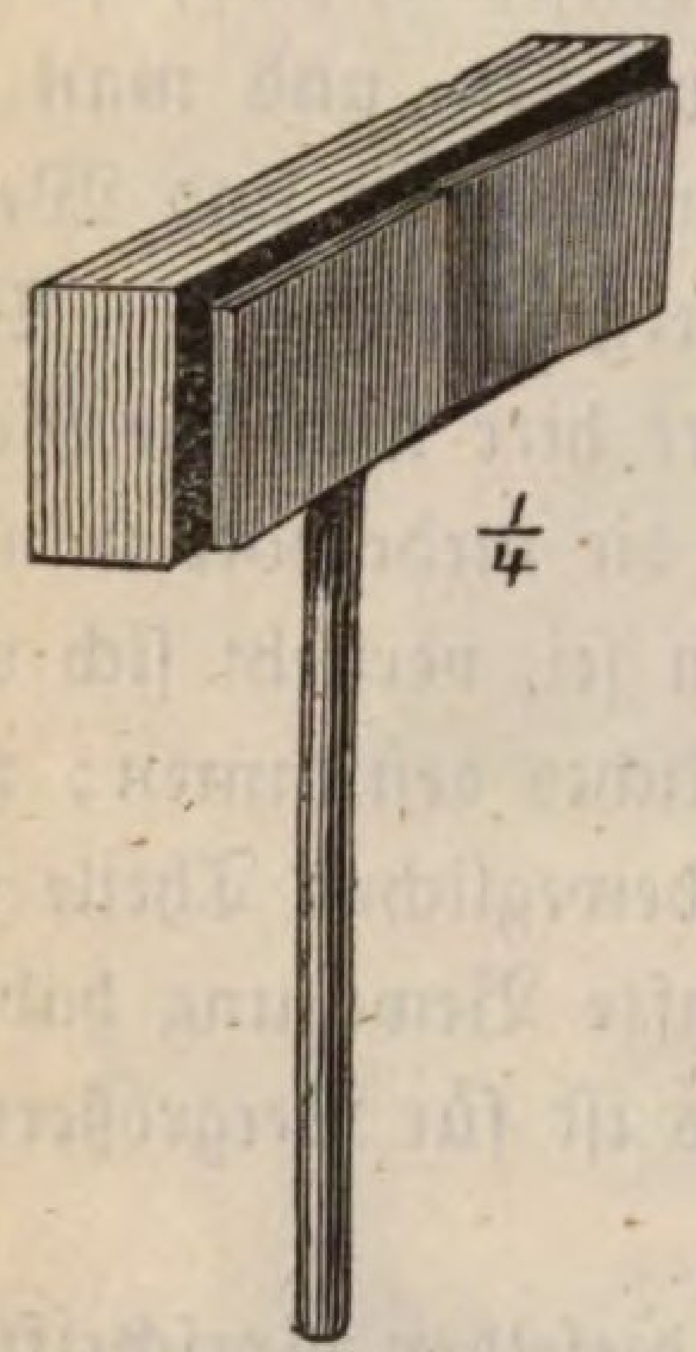
E. Versuche über Interferenz und Beugung des Lichtes.

Der Spiegelversuch. Am einfachsten läßt sich derselbe mittelst 146
zweier Glasspiegel herstellen, die aus demselben Stücke geschnitten sind; Ein Stück nicht zu dickes Spiegelglas von 2—3 Zoll Länge, 1—1⅔ Zoll Höhe wird durch einen scharfen Diamantstrich in der Mitte geschnitten; beim Brechen entsteht dann auf der gegenüberliegenden Fläche meist eine gerade reine Kante; wäre es nicht der Fall, so versucht man es mit einem andern Stücke. Auf den drei übrigen Rändern werden die Spiegel mit Sand roh zugeschliffen.

Sie werden nun auf der Seite, wo der Diamantschnitt gemacht

wurde, mit Tusche geschwärzt, und dafür vorher mit Fließpapier und Spiritus sorgfältig gereinigt, weil sich sonst nie eine gleichförmige Schwärze erzeugt. Der Tusch wird stark angerieben und mit einem Pinsel 4—6mal aufgetragen, bis eine undurchsichtige Schichte entstanden ist. Die folgenden Anstriche müssen mit leichten parallel nebeneinander gesetzten Pinselstrichen gemacht werden, weil beim mindesten Reiben die schon angetrocknete Schichte wieder losgeht und dadurch Flecken entstehen. Je dicker aber der Anstrich bereits geworden ist, desto weniger hat man dieses zu fürchten. Bei jedem folgenden Anstriche müssen die Striche jene des vorhergehenden kreuzen. Man kann die vorher erwärmten Spiegelplatten auch mit schwarzem Siegellack überziehen.

Fig. 219.



Auf ein Klötzchen von Holz, wie Fig. 219, dessen Stiel, wie bei allen ähnlichen Apparaten, in eines der Stativchen, Fig. 177 paßt, streicht man in der Mitte und gegen die Ränder hin etwas Klebwachs (Wachs mit etwa $1/3$—$1/2$ seines Gewichtes Terpenthin zusammengeschmolzen), nachdem das Klötzchen vorher mit Tinte geschwärzt oder vom Schreiner schwarz gebeizt, aber nicht etwa polirt wurde. Auf das Wachs legt man nun die beiden Spiegel mit der Schnittfläche aneinander und drückt sie fest. Die Stelle, wo beide Spiegel an einander stoßen, drückt man etwas nieder, wodurch sie eine schwache Neigung gegen einander erhalten; diese Neigung darf aber nicht stärker sein, als daß man eine 10 bis 20 Schritte entfernte Fensterspange auf beiden Spiegeln nur gerade noch doppelt sieht. Keiner der Spiegel darf über die anderen hervorragen, worüber man sich durch das Gefühl mit der Fingerspitze versichert.

Stahlspiegel, deren Stellung durch Schrauben regulirt werden kann, geben freilich stärkeres Licht, sind aber ziemlich theuer.

Der Versuch selbst kann mit einer Kerzenflamme oder einer hoch und schmal brennenden Lampe angestellt werden, und zwar ohne Schirm; doch werden die Streifen etwas schärfer, wenn man einen Schirm mit einer Spalte davor setzt, die jedoch nicht wohl unter 1 Linie verengert werden kann. Einen solchen Schirm braucht man auch zu den Beugungsversuchen, und man richtet daher ein geschwärztes Brettchen wie Fig. 220 (a. f. S.) zu, wobei die Entfernung der beiden Leisten *mn* jenen am Heliostate Fig. 195 u. 196 gleich gemacht wird, so daß man entweder die beiden Bleche Fig. 197 oder eines, wie *ab* Fig. 221 (a. f. S.) dazwischen schieben kann. Auf der Mitte des letztern befindet sich eine viereckige Oeffnung, neben der zwei kleine Laufleisten *pp*, *qq* befestigt sind, in welchen die beiden Schie-

der r, s eine sichere Bewegung haben; der eine davon kann übrigens auch fest genietet werden. Sowohl die obere Fläche des Schiebers ab, als die untere von r und s, sowie die scharfen Kanten, mit welchen die letztern gegen einander stehen, werden eben und gerade geschliffen. Die Kante des beweglichen Schiebers muß in jeder Entfernung mit der des festen parallel bleiben, und beim Schlusse des Schiebers müssen beide einander berühren, indem bei der Anwendung von Sonnenlicht eine sehr schmale Spalte erforderlich ist. Ein dunkles Zimmer ist hiebei nicht nöthig.

Fig. 220.

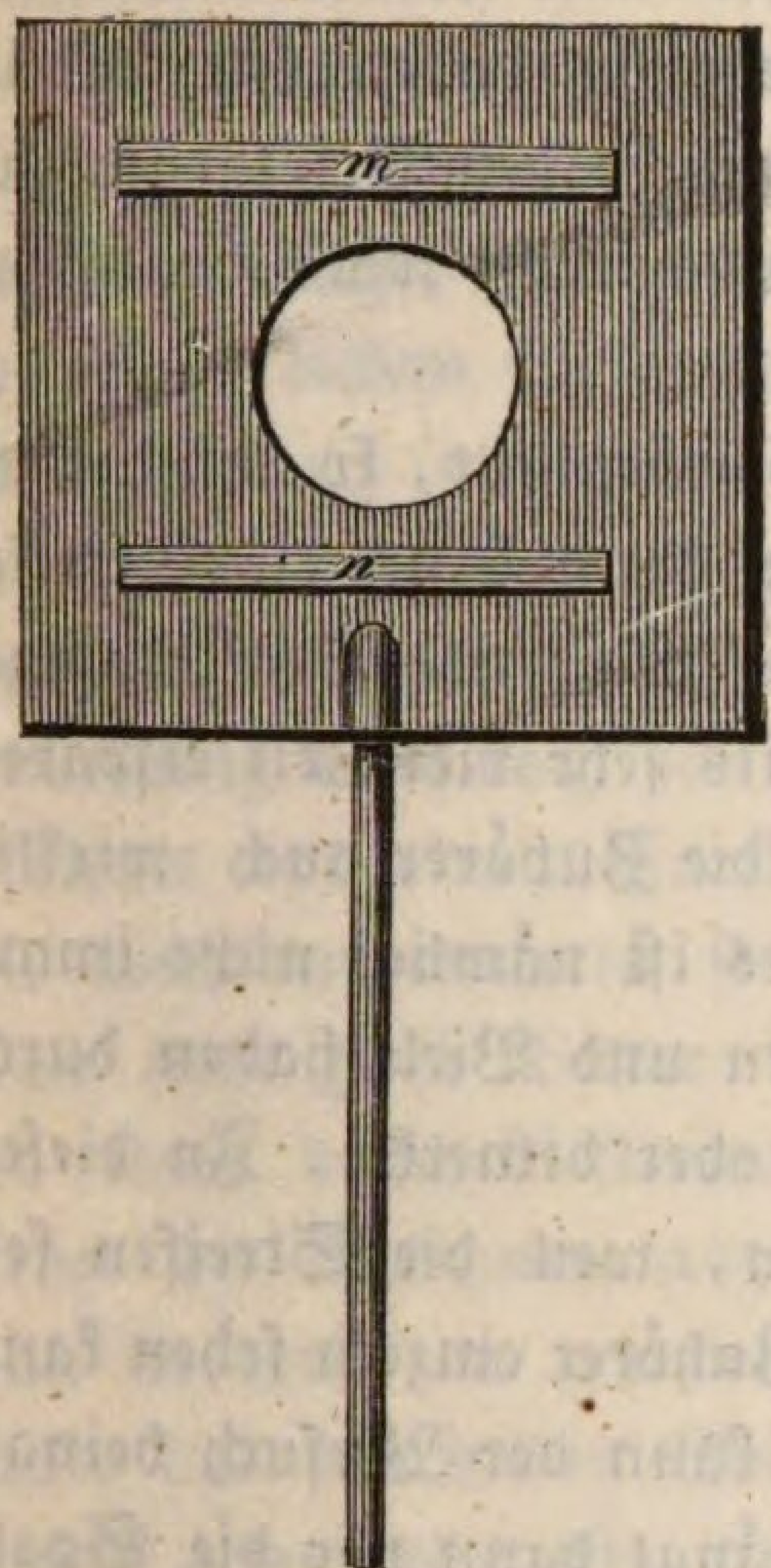
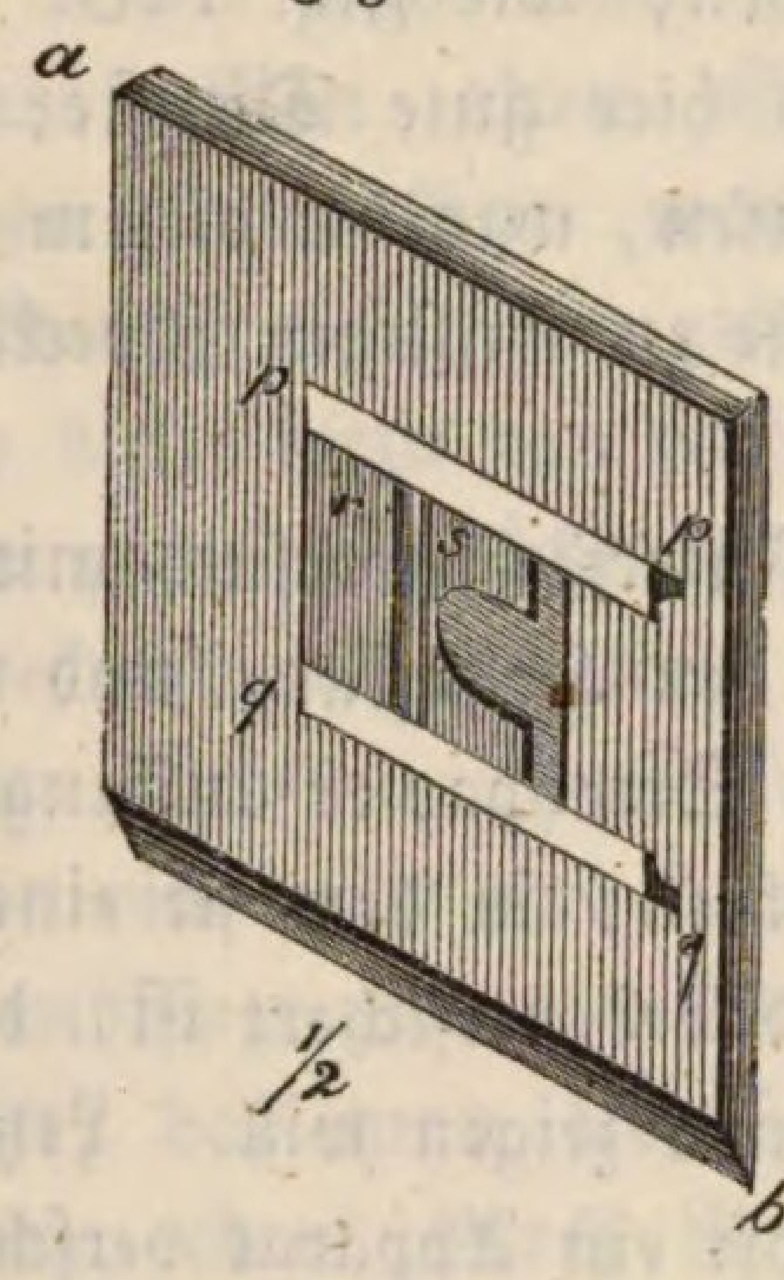


Fig. 221.



Die beiden geschwärzten Spiegel werden in gleicher Höhe mit der Lichtflamme und etwa 10 — 15 Schritte von ihr entfernt aufgestellt; eine geringere Entfernung ist wohl anwendbar, allein die Streifen sind dann viel weniger deutlich. Die Kante, in der beide Spiegel zusammenstoßen, muß der Flamme oder der Spalte so gut als möglich parallel gestellt werden, und die Spiegel selbst eine solche Lage haben, daß die Strahlen mit ihnen einen außerordentlich kleinen Winkel machen, und das Auge in einer Entfernung von 1 — 2 Fußen beinahe in gerader Linie mit der Mittellinie der Spiegel und der Spalte steht. Sieht man so die Kerzenflamme, so bemerkt man von freiem Auge schon zwischen ihren sich überdeckenden Bildern feine Interferenzlinien, wenigstens wenn man kurzsichtig ist, und die Sache schon kennt. Schöner aber, und für jeden überraschend deutlich sieht man dieselben durch eine Loupe von 4—6maliger Vergrößerung. Man befestigt dieselbe am zweckmäßigsten in der Mitte eines schwarzen gestielten Brettchens, wie in Fig. 222, welches in der angegebenen Entfernung von 1 — 2 Fuß von den Spiegeln aufgestellt wird, so daß die einzelnen Beobachter nicht erst die Streifen suchen dürfen, wozu schon eine gewisse Uebung gehört. Licht, Schirm und Spiegel können auf dem Gestelle

Fig. 222.

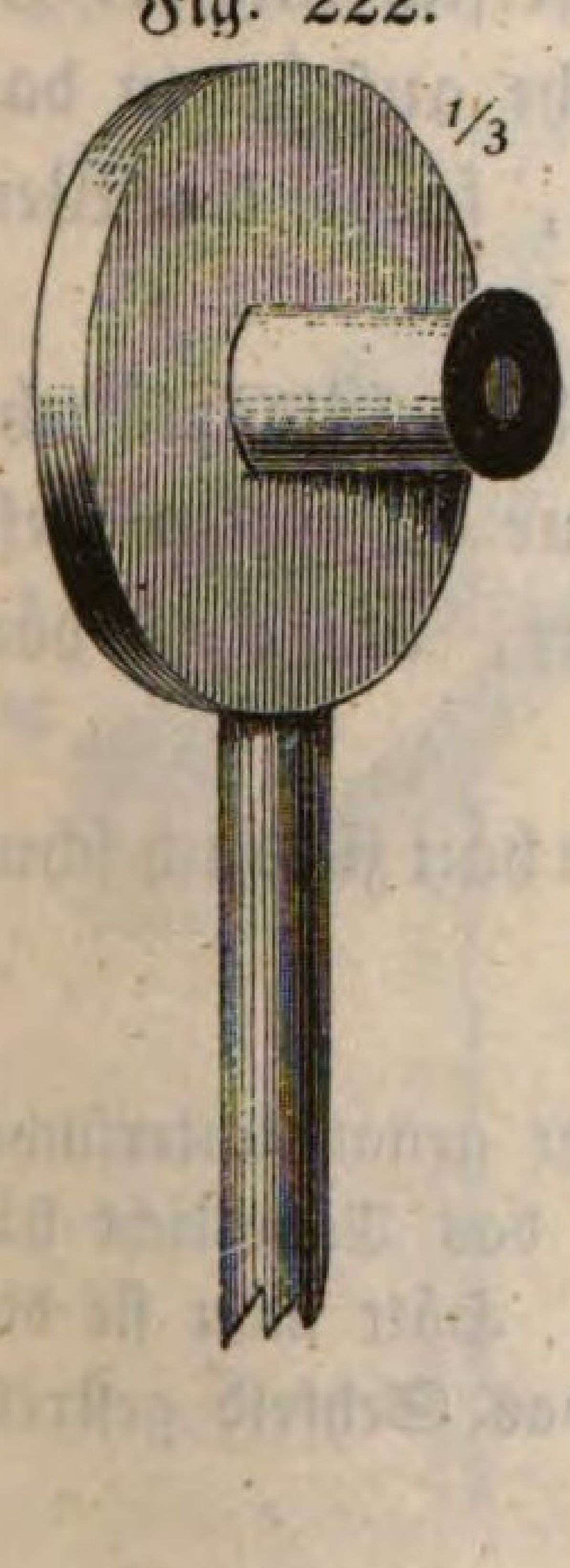


Fig. 184 befestigt werden, die Loupe stellt man in einem Stativchen auf eines der kleinen Tischchen, wie Fig. 178. Cylinderloupen von mäßiger Vergrößerung thun auch hier gute Dienste; allein sie haben sehr oft im Innern der Masse Streifen, was bei diesem Versuche den Erfolg gänzlich stören kann, während sie zu sonstigen Zwecken noch recht wohl brauchbar sein können *).

Macht man den Interferenzversuch mit Sonnenlicht, so kommt der Schieber Fig. 221 an den Heliostat, und man kann dann die Streifen auf einem Schirme von Strohpapier auffangen. Objective Darstellungen sind zwar sehr zu empfehlen, in dem sie einerseits sehr viel Zeit ersparen, und man andererseits dabei versichert ist, daß die Zuhörer auch wirklich das sehen, was man ihnen zeigen will. Letzteres ist nämlich nicht immer der Fall, es wird sehr oft ein Apparat verschoben und Viele haben durchgesehen und Nichts gesehen, ehe man es erfährt oder bemerkt. In diesem Falle wird jedoch deswegen nicht viel gewonnen, weil die Streifen sehr nahe beisammen sind, so daß doch fast nur jeder Zuhörer einzeln sehen kann.

Will man einfarbiges Licht anwenden, so kann der Versuch beinahe nur mit Sonnenlicht gemacht werden. Man hängt dann vor die Spalte im Heliostat ein reines Stückchen Glas von passender Farbe, oder ein mit einer solchen gefülltes Fläschchen mit möglichst reinen und parallelen Wänden. Sehr bequem ist es, wenn der Heliostat auch auf der äußern Seite Schiebleisten hat, zu welcher ein paar Schieber passen, welche mit farbigen Gläsern versehen sind.

Eine vorzügliche blaue Flüssigkeit ist das schwefelsaure Kupferoxydammoniak. Man versetzt Kupfervitriollösung mit Salmiakgeist, bis der grünlichblaue Niederschlag wieder vollkommen gelöst ist. Die Flüssigkeit bleibt in einem verkorkten Fläschchen Jahre lang gut, nur setzt sich mit der Zeit ein Niederschlag ab, den man nicht etwa vor dem Versuche aufrütteln darf. Kochsalz auf den Docht einer Weingeistlampe gestreut, färbt die Weingeistflamme ziemlich homogen gelb.

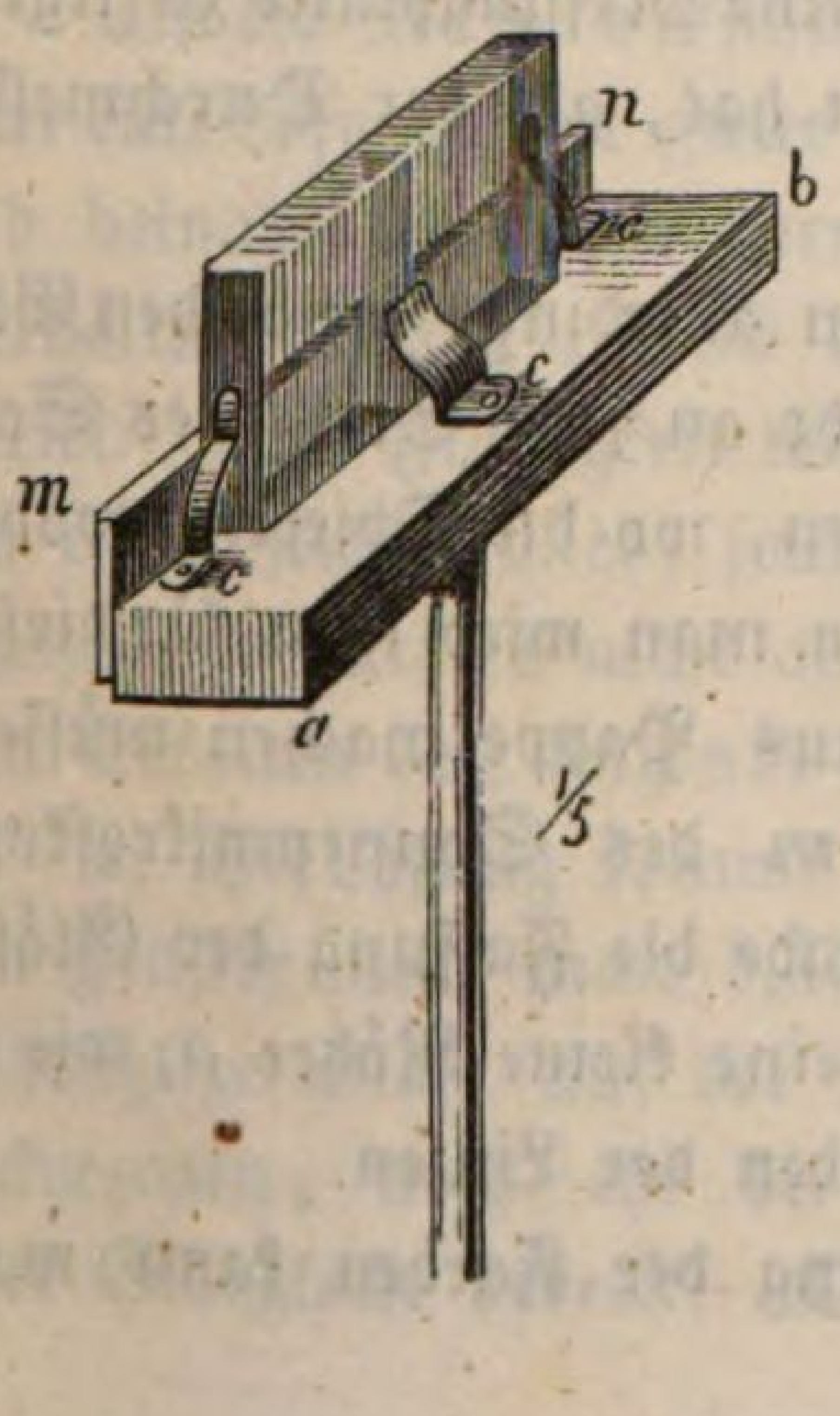
Sowohl die Gläser mit Flüssigkeiten, als die farbigen Glasplättchen werden mit Fäden versehen, mittelst welchen man sie nur an einem hiefür am Heliostat befindlichen kleinen Stifte aufhängen darf, um sie gehörig vor die Oeffnung zu bringen.

147 **Versuche mit dem Interferenz-Prisma.** Es hält ziemlich schwer

*) Beim Ankaufe solcher Loupen muß man dieselben recht genau untersuchen, indem man sie in der Weite des deutlichen Sehens gegen das Tageslicht hält, wo man dann beim Hin- und Herdrehen die Wellen bemerkt. Hält man sie dicht vor das Auge und sieht damit gegen ein Licht, so erscheint das Sehfeld gestreift, und zwar mit Streifen, welche sich mit der Loupe drehen.

ein Biprisma zu erhalten, dessen beide Theile einen entsprechend kleinen brechenden Winkel haben; es dürfte wohl kaum möglich sein, selbst ein solches absichtlich zu schleifen. Von alten Spiegeln, die mit einer schwachen Randfacette versehen sind, kann man wohl zufällig passende Stücke erhalten, welche die Streifen sehr schön zeigen. Allein jedes Stück von etwas dickem Spiegelglase bietet hiezu von selbst das beste Mittel dar, indem Spiegel nur sehr selten parallele Flächen haben, und es handelt sich nur darum, die Richtung zu bestimmen, in welcher sich beide Flächen bei gehöriger Verlängerung schneiden würden. Man findet dieses nach Ohm's Anweisung dadurch, daß man eine enge und kurze Spalte eines dunkeln Schirms vor einem Fenster anbringt und das Glas etwa einen Fuß weit von derselben entfernt so hält, daß man die Spalte darin sehen kann. Man sieht zwei Bilder davon, eines durch Reflexion an der vordern und eines durch Reflexion an der hintern Seite des Glases, von welchem vorher die Belegung abgeschabt wurde. Beide Bilder liegen aber nur dann in derselben geraden Linie, wenn die Zurückwerfungsebene zu der Kante des brechenden Winkels, den die beiden Glasflächen mit einander machen, senkrecht ist, und diese Lage läßt sich durch Drehen des Glases leicht finden und die Richtung der Reflexionsebene auf demselben bezeichnen. Senkrecht zu dieser Richtung läßt man nun einen etwa zollbreiten Streifen aus dem Spiegelstücke schneiden nnd von diesem zwei ebenfalls zolllange rechteckige Stücke herunter nehmen. Mit dem Greifzirkel wird man nun leicht finden, auf welcher Seite sie dicker sind, welche Seite die Basis des Prismas ist, und diese beiden Seiten schleift man sorgfältig eben. Um beim Schleifen das Ausspringen am Rande zu verhüten, schleift man zuerst an diesen eine schwache Facette, die man, wie das Schleifmittel feiner wird, schmäler werden läßt, und zuletzt mit ganz feinem Smirgel wegschleift.

Fig. 223.



Die andern drei Seiten werden roh eben geschliffen. An einem gestielten Brettchen *a b*, Fig. 223, befestigt man nun eine Messingschiene *mm*, und gegen diese lehnt man die beiden Prismen mit ihren Basen gegen einander gestellt; sie werden durch kleine Messingfederchen *c c c* gehalten, oder auch mit Canadabalsam aneinander gekittet. Solche Prismen ertragen eine viel engere Spalte als Spiegel und sind besonders brauchbar, wenn man Versuche mit einfarbigem Lichte macht. Der ganze Versuch kann hier auf dem Balken, Fig. 184, angeordnet werden, und die Distanzen sind dabei dieselben, wie bei Spie-

geln. Indessen muß auch für den Spiegelversuch die Spalte sehr verengt werden, wenn man Sonnenlicht anwendet.

148 **Newton'sche Farbenringe.** Mit einem Converglas von ungefähr 4 Fuß Brennweite und dem nächsten Stück Spiegelglase lassen sich die Ringe schön darstellen; daß sie aber um so breiter und schöner werden, je größer die Brennweite des Glases ist, ist allgemein bekannt. Für den Unterricht wird es nöthig, das Converglas nebst dem dazu gerichteten Spiegelglas in eine Fassung zu bringen, damit man den Druck beider Gläser gegeneinander willkürlich verstärken könne, und damit auch die Ringe stets an derselben Stelle bleiben, weil sie sonst leicht übersehen werden. Zwei starke Messingbleche mit Oeffnungen in der Mitte und mit vier Schrauben, wie in Fig. 224, erreichen den Zweck sehr gut. Um die Ringe im auffallenden Lichte deutlicher zu machen, legt man das Ganze auf eine schwarze Unterlage und läßt es in schiefer Richtung betrachten. Es giebt solche Apparate im Handel, wo das Planglas aus schwarzer Masse besteht und welche diese Ringe vortrefflich zeigen, allein man muß dann doch noch ein passendes Converglas haben, um die Ringe im durchgehenden Lichte zu zeigen. Da diese letztern überhaupt schwach und darum von Ungeübten schwerer zu bemerken sind, so thut man am besten, sie mittelst des Sonnenmikroskops an der weißen Wand darzustellen, indem man eine mäßige Vergrößerung anwendet. Soll das Bild möglichst deutlich werden, so wird es nöthig, eine Blendung von schwarzem Papiere noch unter die eine Messingplatte zu legen, in welches man keine größere Oeffnung gemacht hat, als der Durchmesser der Ringe erfordert.

Fig. 224.

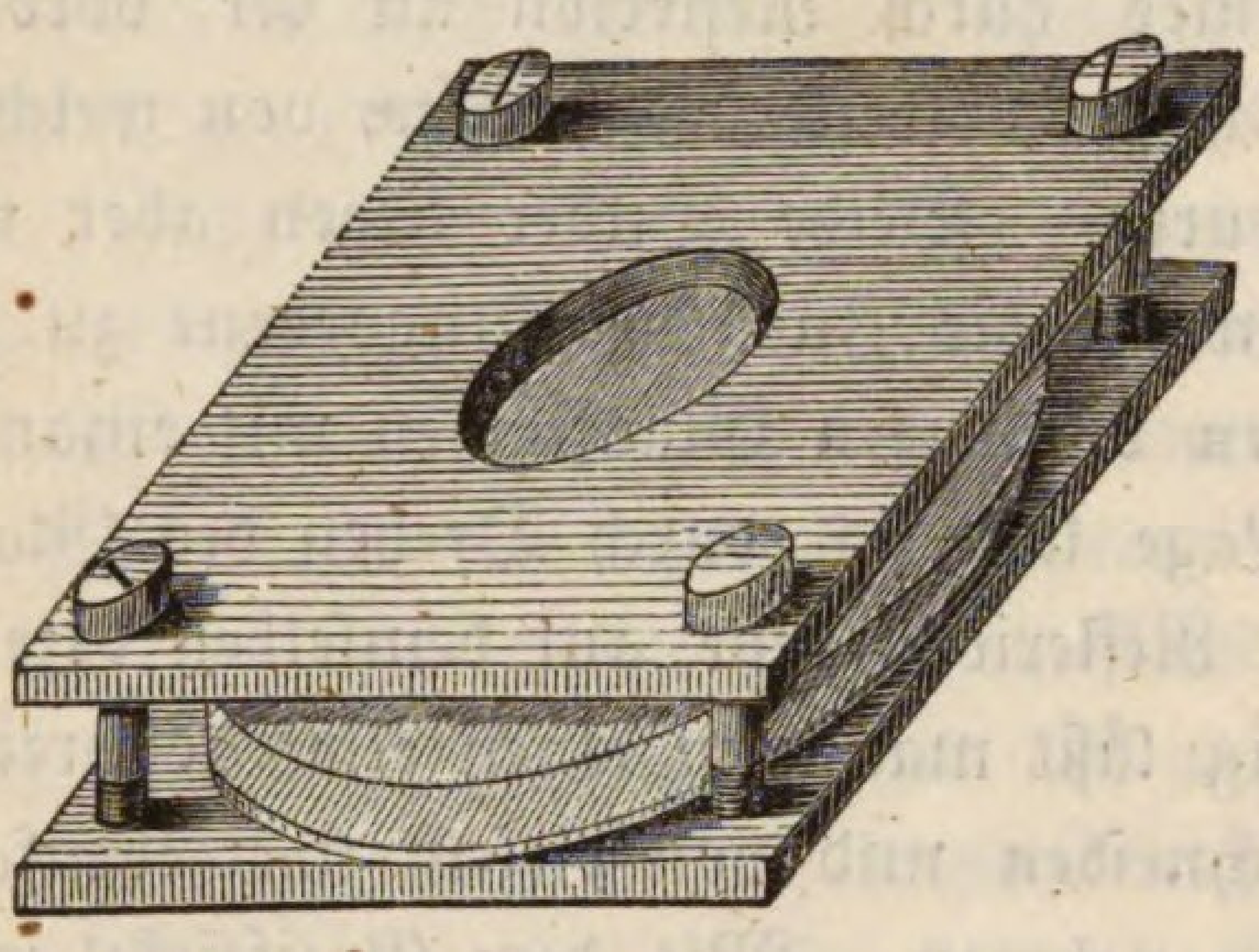
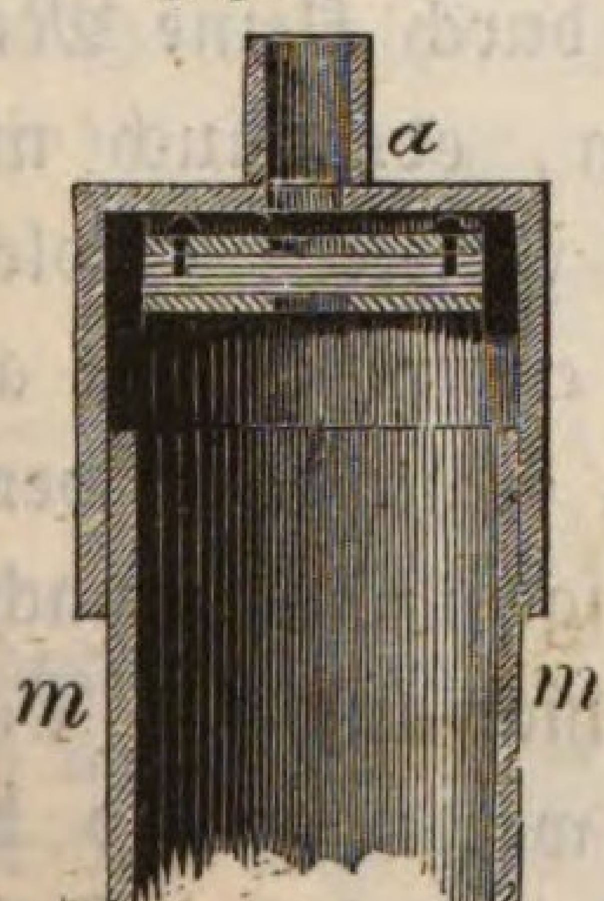


Fig. 225.



In der Regel wird man allerdings die beiden Gläser sammt ihrer Fassung nicht an jene Stelle des Sonnenmikroskops bringen können, wo die Objecte gewöhnlich angebracht werden; allein man wird eben für diesen Versuch eine eigene Röhre aus Pappe machen müssen, welche über die Röhre *mm* des Sonnenmikroskops geschoben werden kann, gerade die Fassung der Gläser aufzunehmen vermag, und eine kleine Röhre *a*, wie in Fig. 225, hat, zum Einschieben der Linsen.

Zu weiterer Erläuterung der Farben kann man

sich leicht spaltbarer Krystalle, namentlich des Gypses, des Glimmers, des Kalkspathes bedienen. Sie enthalten meist schon Luftschichten im Innern, und wenn es ja nicht der Fall sein sollte, darf man nur versuchen, sie mit dem Federmesser zu spalten.

Die Newton'schen Farbenringe erhält man auch sehr glänzend dadurch, daß man den Rand einer kreisrunden 3—6 zölligen Scheibe von sehr dünnem Spiegelglas ringsum etwa in der Breite eines halben Zolls vergoldet, dieses Glas dann mit der vergoldeten Seite auf ein anderes unten mit Tusche geschwärztes Spiegelglas legt, und in der Mitte beide gegen einander drückt. Letzteres geschieht am besten auf einer recht ebenen Unterlage durch ein stumpfspitziges Stückchen Holz. Statt einer kreisrunden Scheibe kann man auch einen länglichen Streifen an beiden Enden vergolden und in der Mitte drücken. Man erhält ebenfalls Ringe, nur sind sie weniger regelmäßig, sie nähern sich den Jahrringen auf tannenen Brettern. Im letztern Falle kann man aber die Vergoldung selbst machen, indem man das vorher gereinigte Glas anhaucht und auf ein Blatt Gold so legt, daß es etwa einen halben bis ganzen Zoll darauf hineinragt. Man trennt dann, während man das Glas noch ruhig auf das Gold andrückt, das übrige Gold von dem aufgeklebten, indem man mit einem sehr reinen Messer mit convexer Schneide darum herumschneidet. Ebenso verfährt man mit dem andern Ende des Glases und dem Reste des Goldblattes. Wenn beide Gläser gleich groß sind, so kann man sie am vergoldeten Rande mit Papier überkleben und den Apparat so bei einander lassen.

Um den Versuch mit homogenem Lichte zu machen, bestreut man den Docht einer Weingeistlampe mit Kochsalz. Man sieht bei homogenem Licht immer viel zahlreichere Ringe, und zwei Glasplatten mit Gold dazwischen erscheinen beim leisesten Drucke ganz von denselben bedeckt.

Um die Newton'schen Farbenringe an Seifenblasen zu zeigen, macht man eine Lösung von guter lufttrockener Hausseife (die feinen Seifensorten sind beinahe durchaus weniger brauchbar) in reinem weichen Wasser im Verhältniß von 1 : 180 bis 200. Die Lösung wird heiß bereitet und filtrirt. Die Flüssigkeit wird gewöhnlich besser, wenn sie etwa 24 Stunden ruhig stehen blieb; sollte sich dabei etwas auf dem Boden des Gefäßes absetzen, so darf es nicht aufgerührt werden. Man kann nun damit nach dem Erkalten auf folgende Art verfahren.

a. Die Lösung kommt in eine Untertasse auf schwarzes Papier am offenen Fenster und man bläst mit einem Glasröhrchen eine etwa Zoll hohe halbkuglige Blase auf der Mitte der Flüssigkeit; das Röhrchen wird zurückgezogen, noch ehe die Kugel Farben zeigt, und dann die Tasse mit einer Glasglocke bedeckt. Die Farben entstehen auf dem Gipfel der Blase

und ziehen sich in immer weiteren Ringen unter dieselbe herunter. Manchmal sind alle Ringe nebst dem mittlern schwarzen Fecke schon anfänglich vorhanden und erweitern sich nur. Da aber immer viele Blasen brechen, ohne daß alle Ringe sich entwickeln und die Entwicklung langsam geht, so ist dieses Verfahren mehr für das Selbststudium, als für den Unterricht geeignet.

b. Man steckt ein Glasröhrchen durch eine Korkscheibe und bläst an demselben innerhalb einer Flasche eine Seifenblase auf, wobei man ebenfalls aufhört, ehe die Blase farbig wird, und die Oeffnung des Röhrchens durch etwas Klebwachs verstopft, weil sonst die Blase wieder einsinken würde. Auch hier zieht sich die Seifenlösung nach dem untersten Theile der Blase und die Ringe entstehen um das Glasröhrchen herum. Dieses Verfahren ist viel sicherer, als das vorhergehende, und die Farbe, welche gerade um das Röhrchen herum sich befindet, nimmt oft eine Breite von 1 — 2 Linien ein. Aber die Ringe werden im Allgemeinen nicht weit, und die neu entstehenden schieben die frühern gleichsam auf einen Haufen zusammen. Die Blasen halten aber sehr lange.

c. Sehr schön und sicher, wenn gleich in den einzelnen Farben nicht immer so entwickelt, erhält man diese Streifen, wenn man die Oeffnung eines Trinkglases in die Seifenbrühe taucht, und das darauf gebildete Häutchen schief hält, wodurch sich der höher liegende Theil derselben verdünnt und die Farben nun als Streifen zeigt. Dieser Versuch gelingt sehr leicht und ist, weil sich die Streifen aller Ordnungen rasch entwickeln und zugleich in ziemlicher Breite gesehen werden können, für den Unterricht am meisten zu empfehlen, obwohl die feine Haut, welche das Glas überspannt, sehr bald reißt.

d. Man kann auch eine viel verdünntere ($1/_{400}$) Seifenlösung in einem weißen Medicingläschen einige Zeit sieden lassen, um alle atmosphärische Luft zu vertreiben und es dann rasch verkorken, den Kork ebenschneiden und versiegeln. Schüttelt man die Seifenlösung nach dem Erkalten, so bilden sich Blasen, welche schöne Farben zeigen und lange halten; nur ist es hiebei anfänglich viel seltener der Fall, daß diese Farben regelmäßig nach ihren verschiedenen Ordnungen entwickelt sind. Wenn aber ein solches Gläschen eine Zeitlang gebraucht worden ist, so entwickeln sich auf den die ganze Breite desselben überspannenden Häutchen die Farben immer regelmäßiger und schöner, wenn man ihnen ebenfalls eine schiefe Lage giebt, und diese Gläschen sind daher um so empfehlenswerther, als sie immer fertig sind.

Wenn es sich überhaupt nur darum handelt, farbige dünne Blättchen zu haben, so kann man leicht eine Glaskugel an einer etwas weiten Röhre rasch bis zum Platzen aufblasen; die davon fliegenden Glashäutchen prangen in den schönsten Farben. Dünne Schichten von Flüssigkeiten über

andere Flüssigkeiten von dunkler Farbe ausgegossen, zeigen ebenfalls sehr schöne Farben; so besonders ätherische Oele über wässerigen Flüssigkeiten.

Will man diese Ringe in homogenem Lichte betrachten, so eignet sich hiezu am besten die Betrachtung durch farbige Gläser. Man erkennt durch solche Gläser in den unter a und b beschriebenen Seifenblasen schon Ringe, lange bevor sie dem bloßen Auge sichtbar sind. Auch den Unterschied in der Breite kann man leicht bemerken, wenn man mit rothem und blauem Glase wechselt. Am besten erkennt man aber diesen Unterschied, wenn man Farbenringe zwischen dem Convex- und Planglase durch ein rothes und blaues Glas zugleich betrachtet, welche gerade aneinander gehalten werden, so daß sie die Ringe halbiren.

Der Versuch von Grimaldi. In einem an den Heliostat passenden Schieber von dünnem Blech mache man zwei Oeffnungen von dem Durchmesser einer mittleren Nähnadel, welche $1/3$ bis $1/2$ Zoll Abstand haben. Leitet man durch den Spiegel das Sonnenlicht horizontal darauf, und fängt nun in einem dunkeln Zimmer das Bild beider Oeffnungen in einer solchen Entfernung vom Fenster auf einem Schirme von Strohpapier auf, daß sich beide Bilder etwa zu einem Drittheil oder höchstens zur Hälfte überdecken, so bemerkt man um die Gränze eines jeden gegen das andere einen dunkeln Saum, während die Mitte der Stelle, wo sie sich überdecken, heller ist als jene Stellen, welche nur durch das Licht einer Oeffnung erleuchtet werden. Deckt man eine Oeffnung, so verschwinden auch die Säume. 149

Man kann für diesen Versuch auch einen hölzernen Schieber anwenden mit einer etwas großen Oeffnung in der Mitte, über welche man ein Blatt Stanniol klebt und in dieses mit einer Nähnadel die beiden Löcher sticht.

Da Glasspiegel am Heliostat immer mehrere Bilder geben, so erhält man auch auf dem Strohpapierschirme von jeder Oeffnung mehrere Bilder, welche einander wechselsweise decken, doch treten die Hauptbilder bei günstigem Stande der Sonne immer noch stark genug hervor, um die Hauptsache der Erscheinung unzweifelhaft darzustellen.

Beugungsversuche. Als Fundamentalversuche über diesen Gegenstand sind die objectiven Darstellungen der Beugung durch eine Spalte, durch eine runde Oeffnung und an einem schmalen undurchsichtigen Körper zu betrachten; diese müssen auch auf die einfachste directeste Weise objectiv dargestellt werden, obwohl es noch andere Mittel giebt, welche die Erscheinungen größer und schöner an der Wand darstellen. 150

Für diese Fundamentalversuche muß man Sonnenlicht haben. Man bringt in den Heliostat die Schieber, Fig. 197, um eine vertikale Spalte

zu bilden, und stellt dieselbe auf etwa 1/2 Millimeter Breite, während der Lichtstrahl horizontal auf eine etwa 10 — 20 Fuß entfernte weiße Wand in das dunkle Zimmer hinein gerichtet ist. In eine Entfernung von etwa 5 Fuß von dieser Wand stellt man eine zweite Spalte vertikal auf mittelst des Schirms Fig. 220 und des Schiebers Fig. 221, oder des später zu beschreibenden auf ein Fernrohr passenden hölzernen Ringes. Die Spectra werden, wenn die zweite Spalte fein gestellt wird, an der weißen Wand hinreichend breit und deutlich, so daß selbst mehrere sie zugleich sehen können. Durch Veränderung der beugenden Spalte kann man nun auch den Einfluß zeigen, den die Breite derselben auf den Erfolg hat.

Der zweite Versuch, der so darzustellen ist, ist die Beugung an einem schmalen undurchsichtigen Körper. Man befestigt zu dem Ende eine Nähnadel oben auf einem beliebigen Stative so, daß sie mitten in dem Lichtbündel steht, welches durch die Spalte des Heliostats in das dunkle Zimmer eindringt. Der Schatten der Nadel zeigt sich sodann mit farbigen Säumen umgeben, und man bemerkt solche Säume auch im Innern des Schattens. Die Säume werden um so breiter, je weiter die weiße Wand von der Nadel entfernt ist.

Ein dritter Versuch wird mit einer runden Oeffnung gemacht. Man setzt für diesen Zweck eine runde Oeffnung von 2 Millimeter Durchmesser in den Heliostat, und in den Schirm Fig. 220 eine eben solche, jedoch von nur halb so großem Durchmesser. Auf der Wand zeigen sich dann concentrische Säume um das weiße Bild der Oeffnung; allein die Erscheinung ist bei weitem weniger scharf und hell als bei der Spalte, man kann kaum den zweiten oder dritten Ring gut unterscheiden.

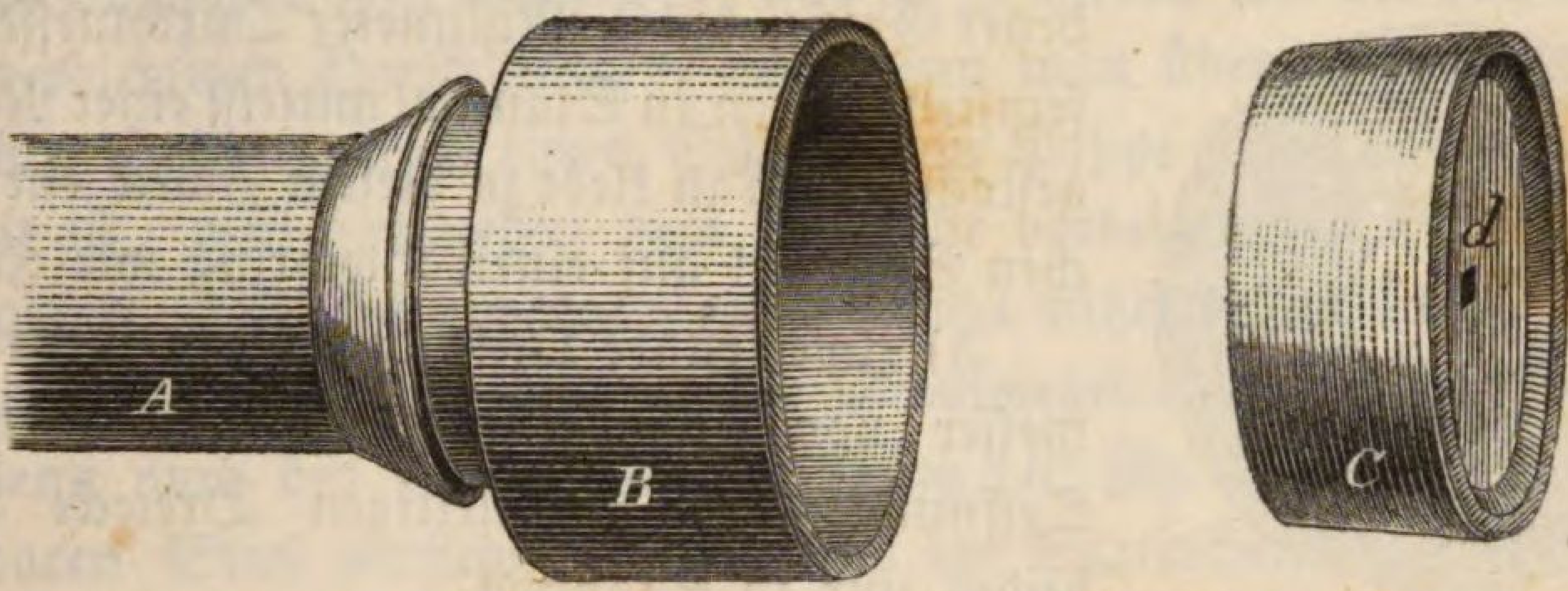
Statt der weißen Wand kann man auch einen Schirm von Strohpapier benutzen. Die Erscheinung zeigt sich wohl noch besser und der Kopf des Beobachters kommt nicht in den Weg.

Diese Erscheinungen lassen sich besser beobachten, wenn man, wie bei den einfachen Interferenzversuchen, sie durch eine Loupe betrachtet. Zu dieser Art der Darstellung eignen sich überhaupt nur die einfachsten Beugungsöffnungen, wie die angeführten, oder etwa noch die unten erwähnte Doppelspalte.

151 Für die Beobachtung der Beugung mit einfachem Lichte benutzt man gefärbte Gläser und das Fernrohr. Letzteres ist überhaupt für die Darstellung der Beugungserscheinungen der zweckmäßigste Apparat; es bedarf dazu nur einer 8 — 12maligen Vergrößerung, und wird entweder mittelst einer Baumschraube an irgend einem Stative in zweckmäßiger Höhe befestigt, oder, wenn es am Meßtischaufsatz sich befindet, auf den Meßtisch gestellt. Am bequemsten, und wenn Messungen gemacht werden sollten die einzig zulässige Art ist freilich das Fernrohr eines Theodolits.

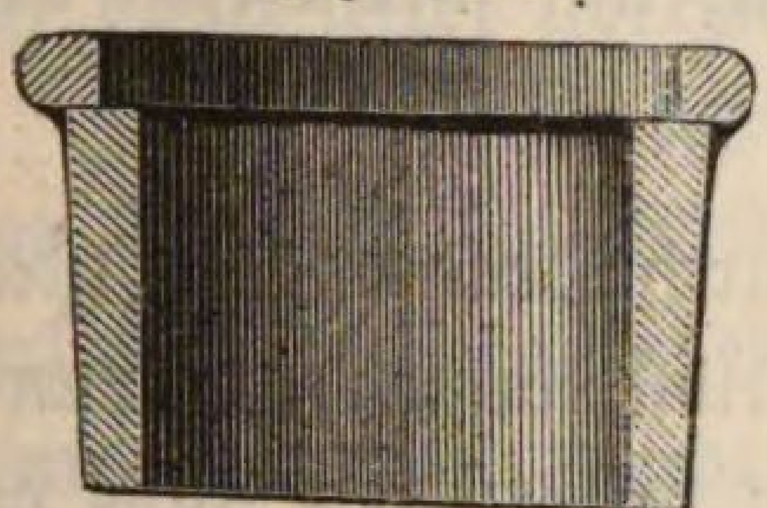
Auf die Objectivseite des Fernrohrs, wo sonst der Deckel aufgeschoben wird, paßt man einen hölzernen Ring *B*, Fig. 226, in welchem anderer-

Fig. 226.



seits eine hölzerne Hülse *C* paßt, welche Fig. 227 im Durchschnitte zeigt.

Fig. 227.

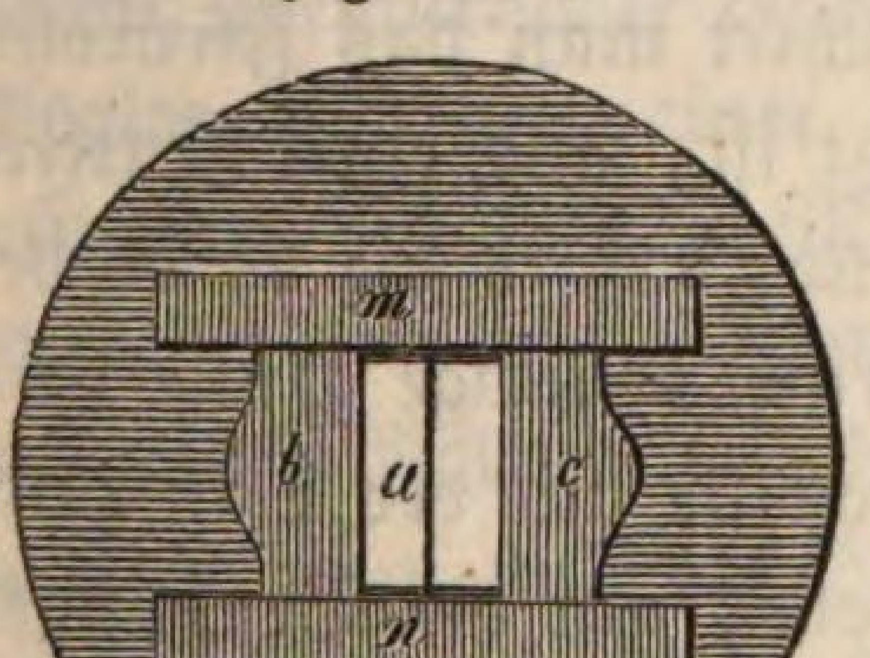


Letztere ist konisch, und läßt sich in dem mit Leder gefütterten Ringe gehörig feststecken; sie hat außerdem im Innern einen Absatz, auf welchen man runde Bleche einpaßt, auf welchen die beugenden Oeffnungen angebracht sind. Diese Bleche werden nöthigenfalls durch einen vorgelegten Drahtring gehalten, und man läßt für jedes eine eigene Hülse *C* anfertigen.

Folgende Beugungsvorrichtungen sind für den Unterricht zweckmäßig

1) Eine Doppelspalte, wie sie Fig. 228 zeigt. Zwischen den

Fig. 228.



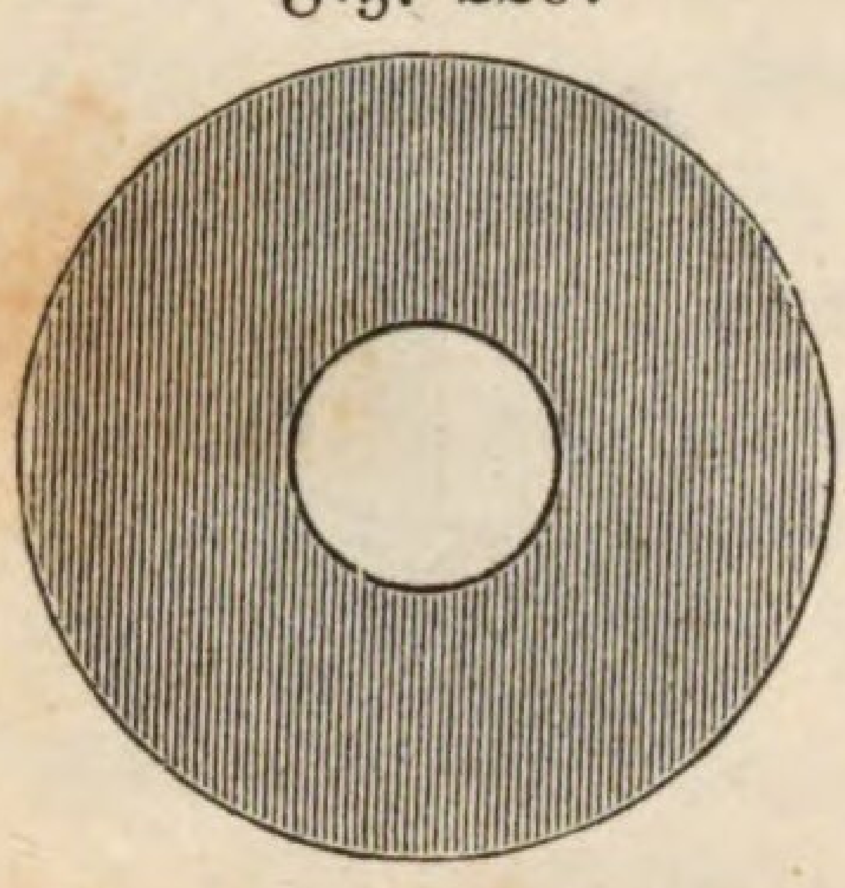
beiden aufgenieteten Schiebleisten *m n*, und durch sie gehalten, ist der dünne Draht *a* (Stecknadelschaft) senkrecht zu den Leisten angebracht; gegen ihn lassen sich die beiden Schieber *b*, *c* bewegen, so daß man entweder den einen ganz schließen und mit dem anderen und dem Drahte nur eine einfache Spalte bilden, oder beide zu einer gleichen oder ungleichen Doppelspalte benutzen kann. Die Höhe der Schieber muß etwa einen halben Zoll betragen, und die Oeffnung im runden Bleche wird rechtwinklicht und etwas niederer gemacht, als die Höhe der Schieber beträgt.

2) Das Stabgitter. Ueber einer viereckigen Oeffnung befestigt man mittelst Siegellack gerade gleich dicke Drähte (Stecknadelschäfte), so daß sie gerade um ihre Dicke von einander abstehen; es sollten deren mindestens sechs Stück sein, und man kann zwei Gitter von verschiedener Feinheit machen.

3) Das gekreuzte Gitter. Für diesen Zweck legt man zwei gleiche Stabgitter über einander, oder man wendet nur geradezu ein Stück-

chen von feinem Drahttuch an, welches durch einen Drahtring in eine Hülse befestigt wird.

Fig. 229.



4) Mehrere runde Oeffnungen von verschiedener Größe, bis 2 Millimeter Durchmesser. Die feinsten werden in Stanniol mittelst einer Nähnadel gestochen. Man klebt zu diesem Zweck ein Stückchen Stanniol auf einen Blechring wie Fig. 229.

5) Zwei runde Oeffnungen um ihren Durchmesser von einander abstehend und ebenso drei Oeffnungen im gleichseitigen Dreiecke stehend, beides nur in Stanniol.

6) Eine rautenförmige Oeffnung von 1—2 Millimeter Seite, und zwei solche Oeffnungen, die einander parallel stehen, und um ihre Breite von einander entfernt sind.

7) In ein paar weitere Hülsen befestigt man durch Drahtringe Stücke von Spitzengrund, Seidenzeug u. dgl. Die Versuche selbst können mit Lampen- oder Sonnenlicht gemacht werden, nur müssen im ersteren Falle die beugenden Oeffnungen sowohl, als die Oeffnungen vor der Lichtquelle größer genommen werden. Für Sonnenlicht muß die lichteinlassende Spalte oder runde Oeffnung haarfein gestellt sein. Für die Versuche mit einfarbigem rothen oder blauem Lichte ist aber nur Sonnenlicht brauchbar, Lampenlicht wird durch Gläser mit gehörig gesättigter Farbe zu sehr geschwächt.

152 Um nun die Versuche selbst anzustellen, richtet man das Fernrohr nachdem der hölzerne Ring *B* (Fig. 226) aufgesetzt ist, aus einer Entfernung von 5—10 Schritten so gegen die Lichtquelle, daß es die davor befindliche Oeffnung deutlich zeigt, und setzt nun eine beliebige Hülse ein; Spalten und Stabgitter natürlich immer so, daß sie mit der Lichtspalte parallel stehen. Man sieht nun durch das Fernrohr, um die Beugungserscheinungen zu beobachten, ohne daß man nöthig hätte, ein dunkles Zimmer anzuwenden. Macht man aber die Versuche im dunkeln Zimmer und mit Sonnenlicht, so kann man das durch das Fernrohr gegangene Licht auf einem weißen Schirme auffangen und erhält dadurch die Erscheinung objectiv und so vergrößert, daß ein ganzes Auditorium dieselbe deutlich sehen kann. Es eignen sich hiefür besonders complicirtere Beugungsöffnungen wie die Doppelspalte und die verschiedenen Gitter, weil sie Licht genug auf das Objectiv gelangen lassen und dadurch das Bild in gehöriger Helligkeit erscheint. Das Fernrohr muß dafür so weit ausgezogen werden, daß es, bevor die Beugungsöffnungen eingesetzt werden, ein deutliches Bild der Oeffnung am Heliostat auf der weißen Wand giebt, wozu je nach der Entfernung des Schirms immer etwas mehr erfordert wird, als

zum deutlichen Sehen. Daß die Richtung des einfallenden Lichtstrahles genau mit der Axe des Fernrohrs zusammenfallen muß, ist für sich klar.

Sieht man durch das Fernrohr, so muß man bei Sonnenlicht sehr enge Beugungsöffnungen anwenden, und es ist hiebei, wie bei den eben erwähnten objectiven Darstellungen, gut, wenn man über den am Fernrohre befindlichen Holzring noch einen Schirm von Pappe steckt, der etwa 3—6 Zoll breit ist, weil das neben dem Fernrohr vorbeigehende Licht sonst störend einwirkt. Dieses nebenausfallende Licht rührt hauptsächlich von den doppelten und mehrfachen Bildern der Glasspiegel am Heliostat her.

Wenn man den eben erwähnten Ring (*B*, Fig. 226) mit einem abschraubbaren Stiel versieht, der in eines der Stativchen, Fig. 177 paßt, so können auch alle darein passenden Beugungsöffnungen zu den zuerst beschriebenen directen Beugungsversuchen verwendet werden, und man kann sich dann leicht überzeugen, welche Oeffnungen dafür die passendsten sind.

Soll Lampenlicht angewendet werden, so stellt man vor die Lampe den Schirm, Fig. 220, in welchem entweder ein Schieber mit einer veränderlichen Spalte oder einer mit mindestens 2 Millimeter weiter runder Oeffnung eingesetzt werden. Für Lampenlicht ist nur die Betrachtung durch das Fernrohr zweckmäßig, welches auch hier so gestellt werden muß, daß es die vor der Lampe stehende Oeffnung deutlich zeigt, bevor die Beugungsöffnungen eingesetzt werden.

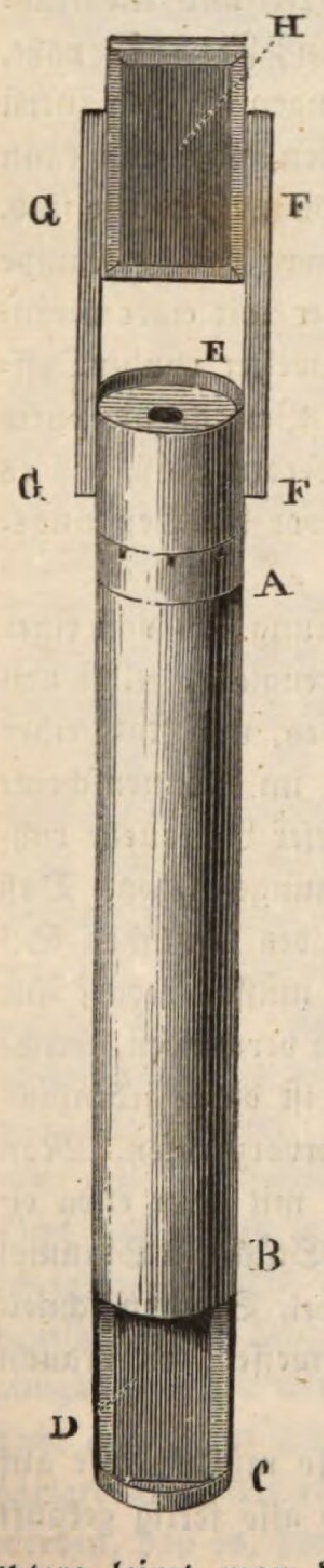
Als Lichtquelle kann auch statt einer runden Oeffnung das von einer Thermometerkugel, von einem innen geschwärzten Uhrenglase, selbst von einem Metallknopfe reflectirte Sonnenbild benutzt werden, und statt einer Spalte, die von einer innen geschwärzten Glasröhre im Sonnenscheine reflectirte Lichtlinie. Man kann das Fernrohr nach dieser Lichtquelle richten oder auch mit bloßem Auge durch die Beugungsöffnungen sehen. Daß in letzterm Falle die Lichtquelle sich in der Entfernung des deutlichen Sehens befinden und die Beugungsöffnung sehr fein sein müsse, bedarf nur der Erwähnung. Man kann also hiezu nur jene Hülsen verwenden, welche feine in Stanniol geschnittene Oeffnungen haben, und es ist dieses jedenfalls die einfachste Art, regelmäßige Beugungserscheinungen hervorzurufen. Man bedarf nämlich nur einiger Stückchen Blech oder Holz mit einer etwa einen Drittelszoll großen Oeffnung, über welche man ein Stückchen Stanniol klebt. Runde Oeffnungen sticht man mit einer Nähnadel, Spalten schneidet man auf einer Unterlage von Glas mit dem Federmesser; es braucht für letztere Nichts ausgeschnitten zu werden.

Will man ganz feine und regelmäßige Gitter, so müssen diese auf Glas mit der Theilmaschine geschnitten werden, und also fertig gekauft werden.

Wenn es sich nur um Beugungserscheinungen überhaupt handelt, so

hat man überall Gelegenheit, solche zu beobachten; man darf nur durch eine Spalte zwischen den Fingern nach dem hellen Himmel sehen, so findet man zwei bis drei Streifen, die oft sogar ein wenig gefärbt sind; das Gleiche ist der Fall, wenn man bei halbgeschlossenen Augen durch die Augenwimpern nach einem entfernten Lichte, oder durch ein Stück Seidenzeug nach einem solchen sieht, z. B. durch den aufgespannten Regenschirm nach einer entfernten Straßenlaterne, wo sogar die Spectra recht deutlich werden. Allein so häufig auch solche Erscheinungen in der Natur sind, so kann man dennoch die Anfertigung der eigenen Beugungsapparate nicht wohl umgehen, weil man in diesen Erscheinungen die Beugung erst wieder erkennt, wenn man sie in ihren einfachen Formen vorerst kennen gelernt hat.

Fig. 230.

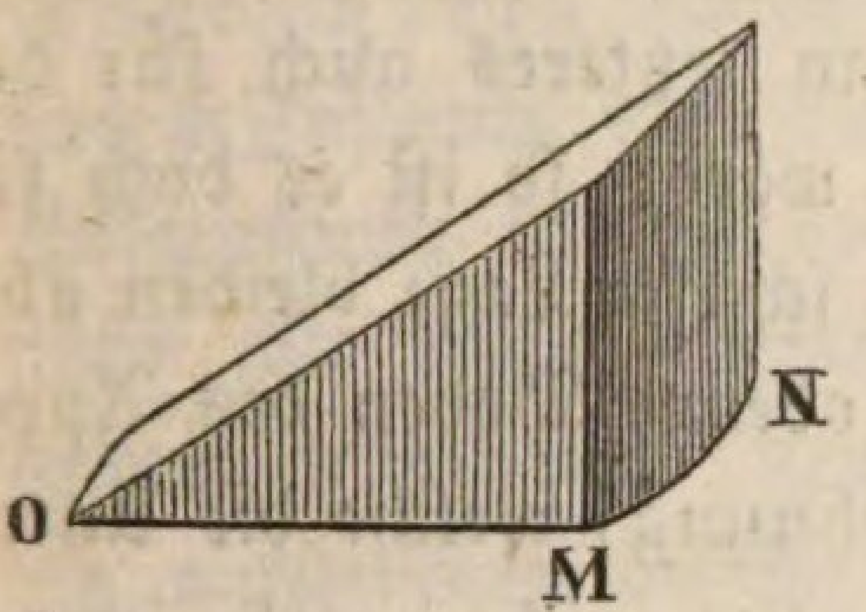


F. Versuche über die Polarisation des Lichtes.

153 **Polarisationsapparate.** Die einfachste Vorrichtung für die hieher gehörigen Versuche besteht in einer Röhre *ABC* aus Pappe am kürzesten von einem alten Fernrohre, aus der man einerseits bei *BC* die Hälfte ausgeschnitten hat; sie erhält bei *C* einen ganz geschlossenen, bei *B* aber und am andern Ende der Röhre einen Boden mit einer centralen Oeffnung von etwa einem halben Zolle Durchmesser; letztere wird, wie die Figur zeigt, nicht ganz an das Ende der Röhre gesetzt. Die ganze Röhre wird inwendig geschwärzt. In den ausgeschnittenen Theil *BC* leimt man ein Klötzchen, wie Fig. 231 (a. f. S.), dessen untere Fläche *MNO* nach der Röhre gekrümmt ist, dessen obere Fläche aber mit dieser einen Winkel von $35^0\ 25'$ macht; diese obere Seite wird mit etwas Klebwachs bestrichen und darauf der unterhalb geschwärzte Polarisationsspiegel *D* Fig. 230 gelegt. Oberhalb steckt man zwei kurze Röhren von Pappe *A*, *E* — die nächst größere des alten Fernrohrs — an, wovon die eine, die innere, fest geleimt wird, die andere aber nicht. An letztere leimt man dagegen diametral einander gegenüber zwei Stäbchen von Holz, *FF*, *GG*, zwischen welche oberhalb ein zweiter schwarzer Spiegel *H*

kommt. Letzterer kann entweder unmittelbar in einen Falz gekittet werden, den man unter dem Polarisationswinkel für Glas in die beiden

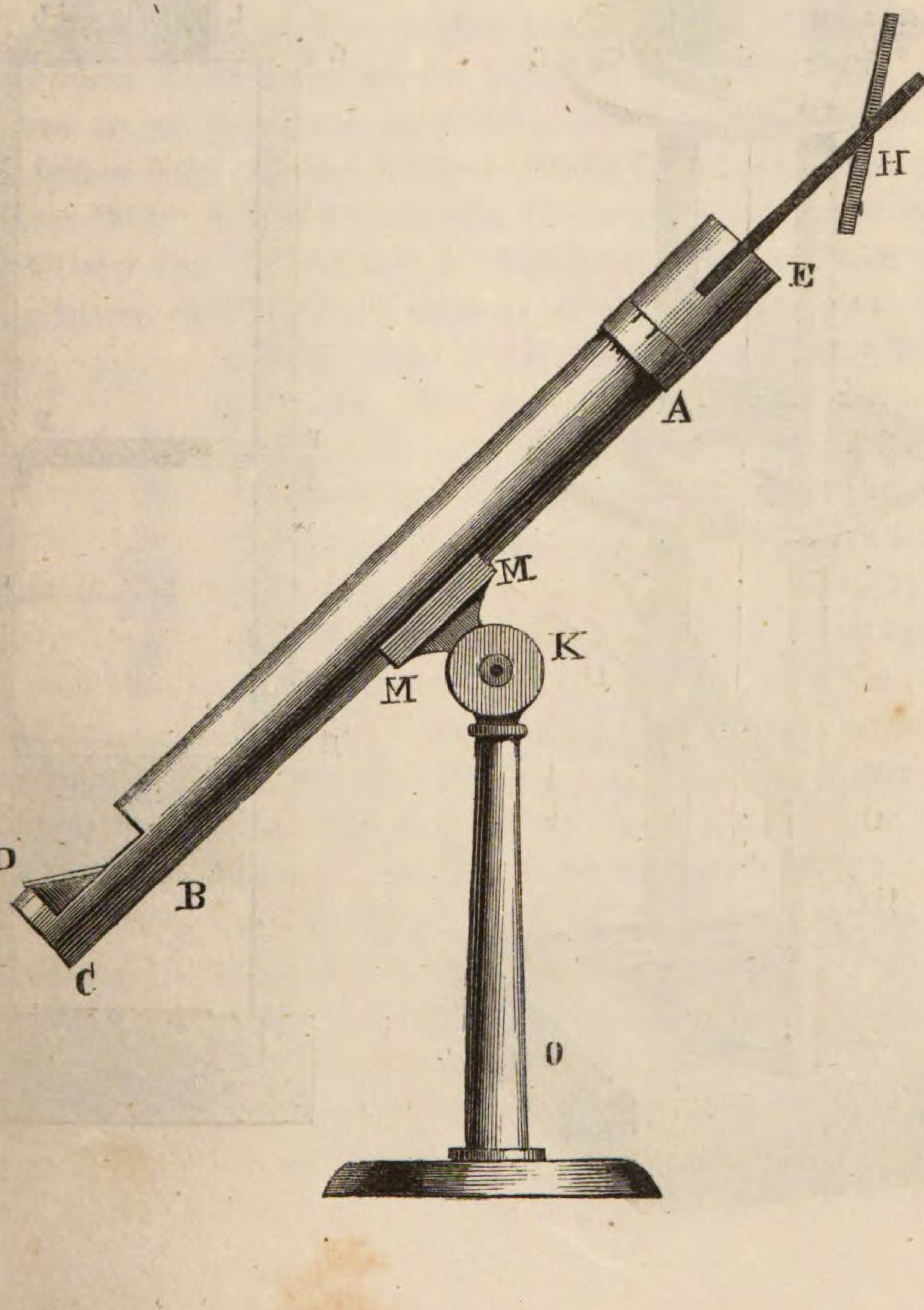
Fig. 231.



Stäbchen geschnitten hat, oder man kann ihn auf ein Brettchen kleben, durch welches eine Axe geht, an der sich der Spiegel mit Reibung zwischen den beiden Stäbchen drehen läßt. Statt der Röhre mit den beiden Stäbchen und dem Spiegel kann man auch andere Röhrenstücke aufstecken, in welche andere Analysirungsapparate angebracht werden können, wie eine Turmelinplatte, ein Doppelspathprisma, u. dergl., von welchen später die Rede sein wird.

Man kann auch einen solchen Polarisationsapparat auf ein Brettchen *MM* Fig. 232 leimen, welches auf dem Gestelle *O* in dem Gelenke *K* sich bewegen läßt.

Fig. 232.



Ein solcher Apparat hat das Unbequeme, daß man nicht gut in allen Stellungen des obern Spiegels in denselben sehen kann, und daß er bei senkrechter Stellung künstlicher Beleuchtung durch eine auf einem niederern Stative befindliche Lampe nöthig hat. Wenn letzteres auch für den Fundamentalversuch der Polarisation zweckmäßig wäre, so ist es doch für die Versuche mit Krystallplatten unbrauchbar; in schiefer Lage bleiben aber letztere nicht in der gehörigen Stellung auf dem oberen Boden des Apparates. Wenn man nun auch je nach der Ausdehnung, welche die Unterrichtszeit und die Vorbereitung der Zuhörer erlaubt, nicht gerade immer

Fig. 233.

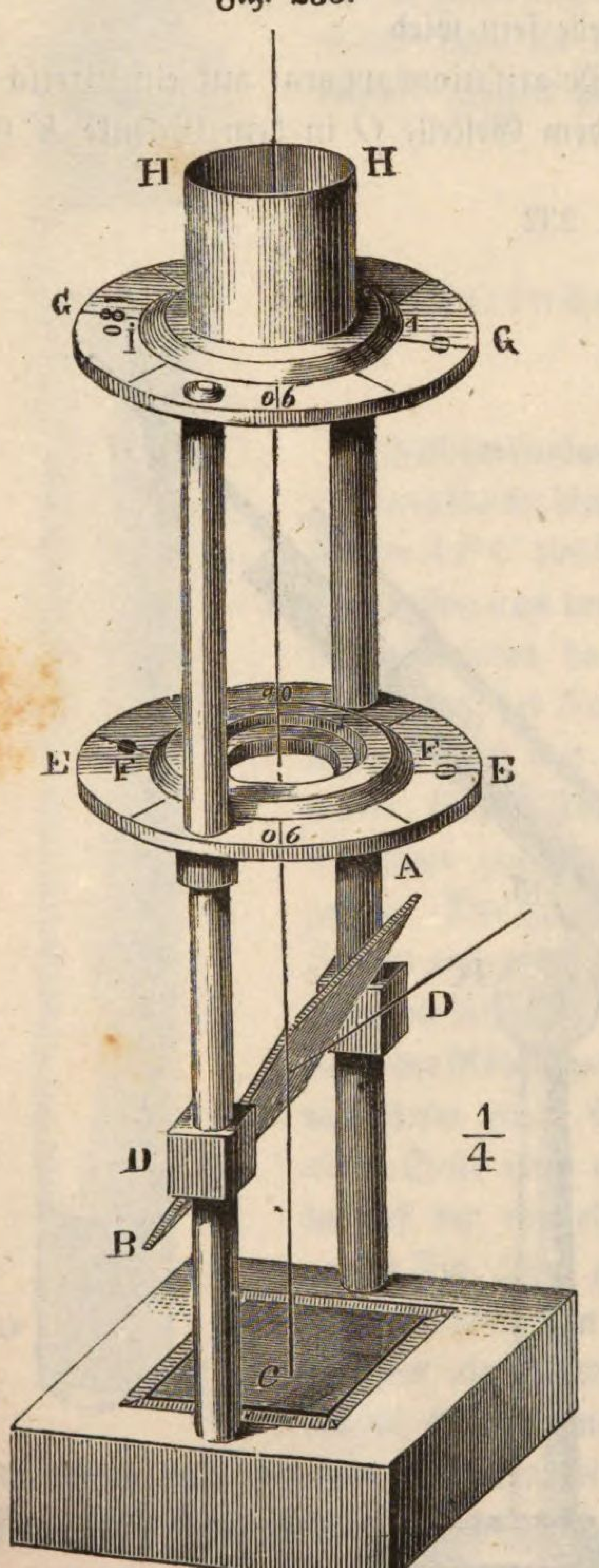
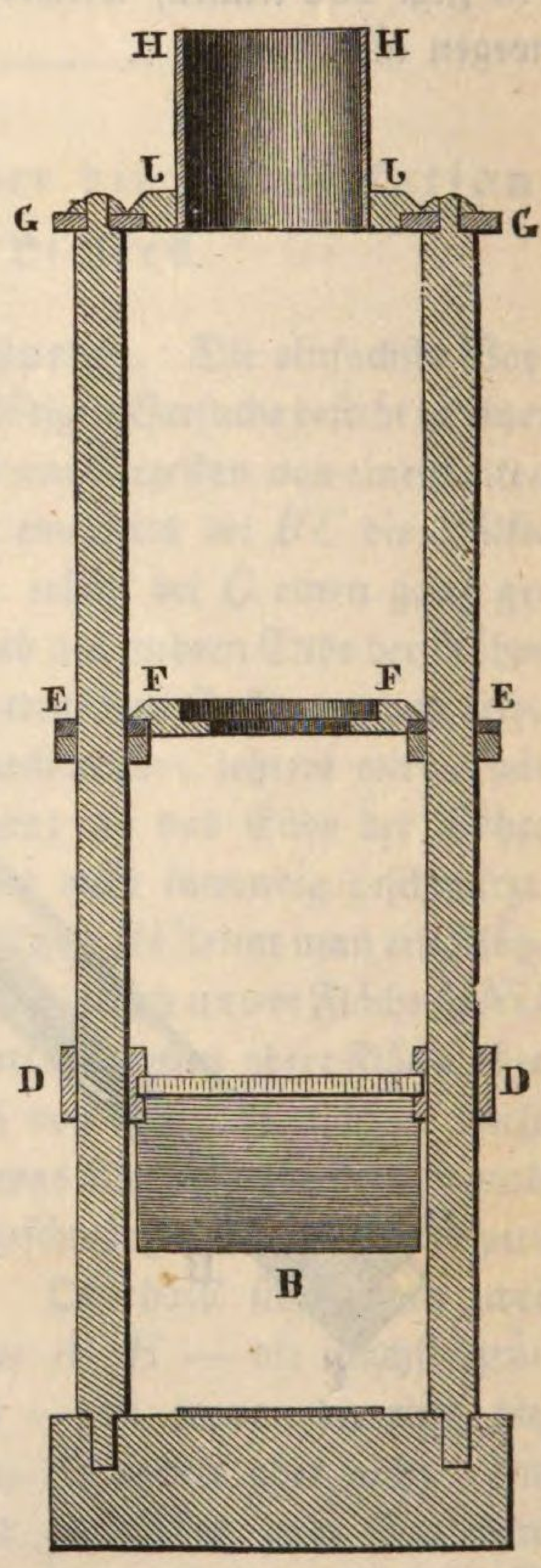


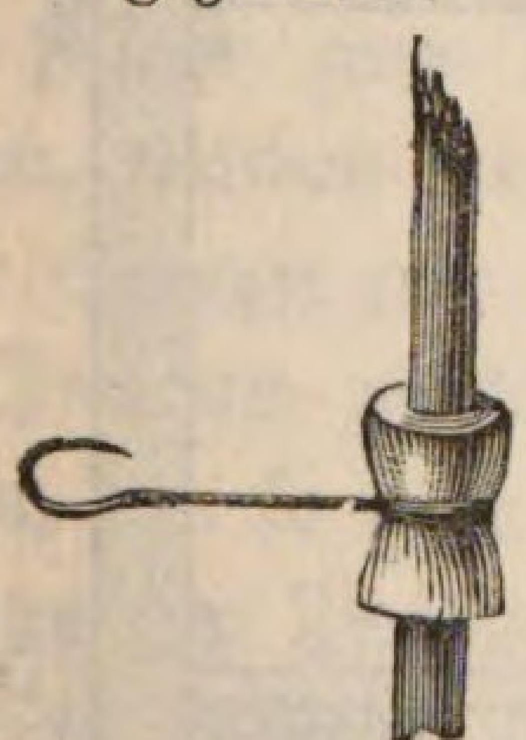
Fig. 234.



im Falle ist, sich weiter auf die Polarisationserscheinungen in verschiedenen Krystallen einzulassen, so bedarf man doch einer hiezu brauchbaren Vorrichtung für sich. Der bequemste Apparat ist bis jetzt offenbar der von Nörremberg angegebene, den man sich in zu allen Versuchen brauchbarem Zustande ebenfalls selbst anfertigen kann, wenn die Mittel zu dessen Anschaffung in unverstümmelter Gestalt nicht zureichen; denn nicht alle unter diesem Namen verkauften Werkzeuge sind zu allen Versuchen brauchbar. Fig 233 und 234 (a. v. S.) zeigen denselben in 1/4 der natürlichen Größe.

Auf einem viereckigen oder runden Klötzchen von Holz sind zwei runde Stäbe befestigt, welche entweder aus altem, schon längst dünn geschnittenem Holze oder auch aus Messingdraht gemacht werden; in letzterem Falle müssen sie verhältnißmäßig etwas schwächer genommen werden. Zwischen den Stäben legt man auf Papierunterlage einen viereckigen oder runden Spiegel *c*, den man durch Papierstreifen ringsum fest leimt oder durch Messingschienen befestigt. An die Stäbe werden zwei Würfel aus Kork *DD* geschoben, zwischen welchen das mit einem Rähmchen und einer Axe versehene Spiegelglas *AB* sich mit Reibung drehen kann. Einfacher wird das letztere und gleich zweckmäßig, wenn man die Würfel *DD* mit einem solchen Falze versieht, daß das hineingekittete oder auch nur hineingeschobene Glas *AB*, das dann kein Rähmchen erhält, einen unveränderlichen Winkel von 35° 34′ mit der Vertikalen macht. Bevor diese Würfel angeschoben werden, schiebt man an einen der Stäbe einen Kork, um

Fig. 235.



welchen man vorher einen etwas starken Draht gelegt hat, Fig. 235, dessen Ende ebenfalls in einen Ring gebogen ist, in welchen man eine Loupe legen kann; die Mitte des Ringes muß mit der vertikalen Axe des Instruments zusammenfallen. Für die meisten Versuche wird er mit dem Korke seitwärts gedreht; da der Kork fest an dem Stabe steckt, so bleibt der Ring in jeder Lage, die man ihm geben will, stehen.

Ueber dem Spiegel befindet sich, ebenfalls auf die Stäbe geschoben und von zwei vorher angeschobenen Korkringen getragen, eine runde Scheibe aus Messing, Holz oder Pappe. Letzteres Material ist das zweckmäßigste, wenn man den Appatat selbst verfertigt. Die Pappe erhält die erforderliche Festigkeit durch Ueberleimen mit Papier, wobei man den heißen Leim etwas in die Pappe einziehen läßt; oberhalb nimmt

Fig. 236.



man weißes, unterhalb schwarzes Papier. Dieser Ring hat in der Mitte eine kreisrunde mit der Axe des Instrumentes concentrische Oeffnung, in welcher ein zweiter in Fig. 236 besonders abgebildeter Ring sich

drehen läßt. Letzterer wird aus zwei über einander geleimten Ringen zusammengesetzt, wovon der untere etwas kleiner ist, aber auch eine kleinere Oeffnung hat, als der obere; der Rand des letztern wird zugeschärft, was mit der Feile leicht und scharf geschehen kann, da mit Leim getränkte Pappe eine hornartige Consistenz erhält. Eine Platte aus Spiegelglas wird rund geschnitten, so daß sie in den Ring *FF* paßt, aber leicht herausgenommen werden kann; ebenso richtet man eine Scheibe aus Blech oder Pappe, welche in die Oeffnung paßt, und in der Mitte selbst eine klei-

Fig. 237.

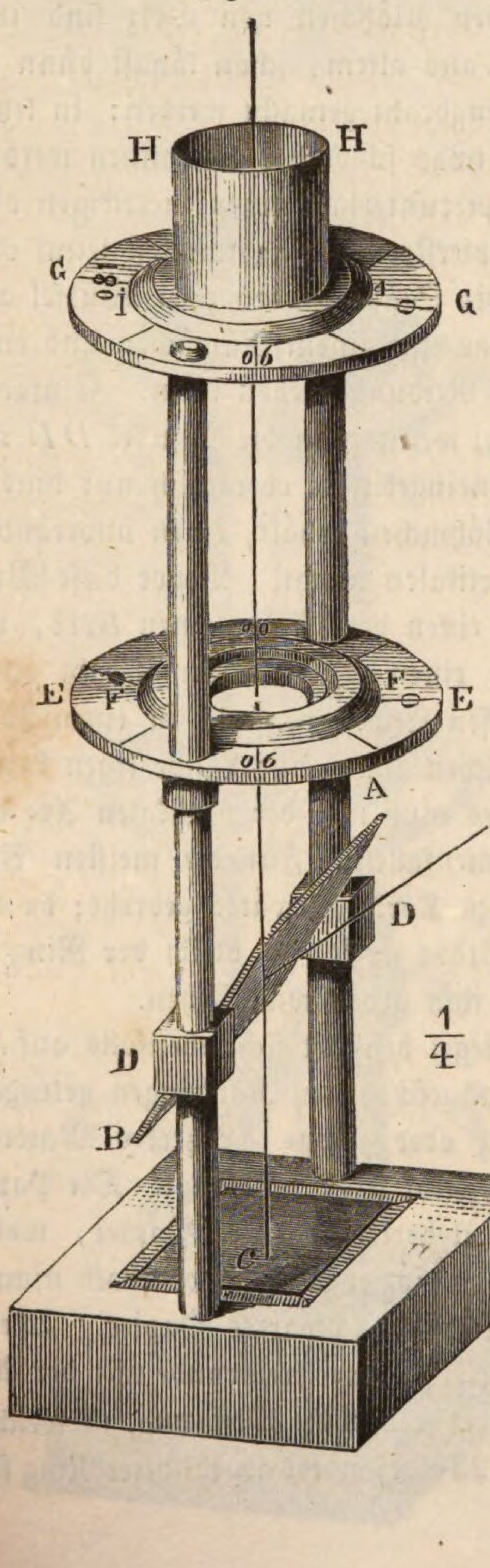
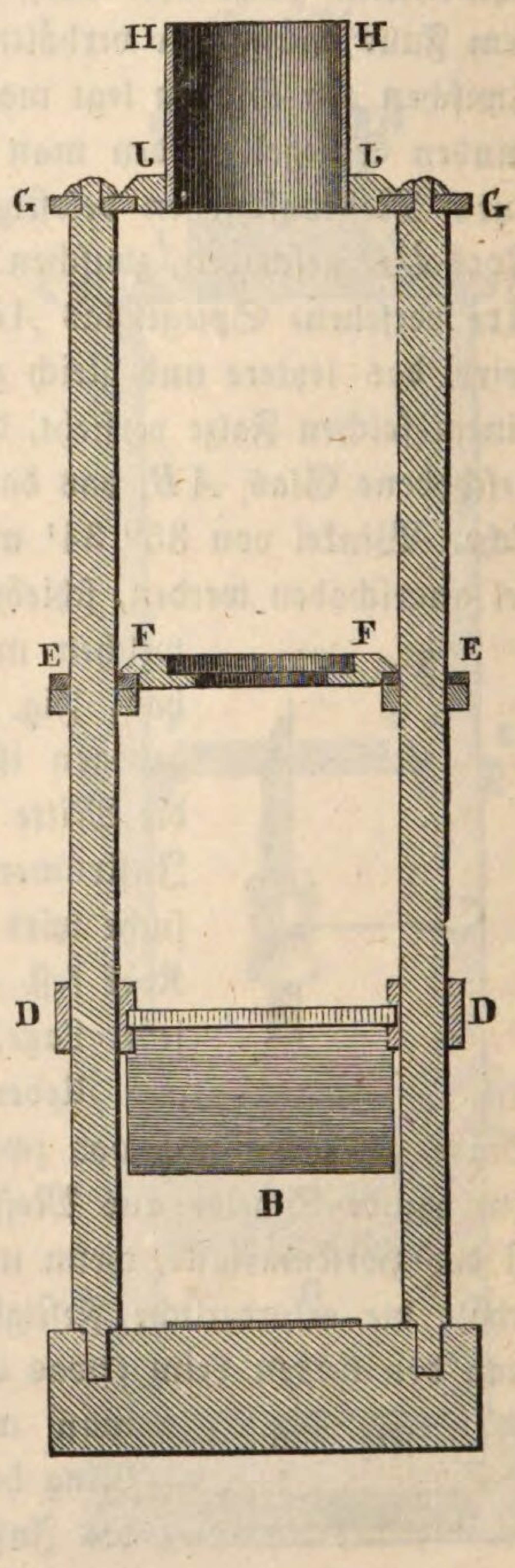


Fig. 238.



nere etwa 2 Linien weite Oeffnung hat; sie wird wie der Ring *FF* geschwärzt.

Bevor der obere Ring *GG* aufgesteckt wird, schiebt man auch hier auf einen der senkrechten Stäbe einen mit einem Drahtringe versehenen Kork, wie Fig. 236. Der Ring *GG* wird auf die verdünnten Enden der Stäbe gesteckt und durch darüber geschobene Korkringe gehalten, oder auch fest geleimt, wenn man sich einmal von der Richtigkeit des ganzen Apparates überzeugt hat. Auch der Ring *GG* ist oben mit weißem, unten mit schwarzem Papier beleimt und hat eine kreisrunde Oeffnung, in welcher sich ein zweiter Ring *II* drehen kann, der ebenfalls aus zwei Pappscheiben zusammengeleimt ist wie *FF*, nur hat er eine durchweg gleich weite Oeffnung, in oder um welche die kurze Papprôhre *HH* aufgesetzt ist.

Die Ringe *EE*, *GG*, sind in Achtelkreise getheilt und das Null der Theilung fällt mit der Reflexionsebene des Spiegels *AB* zusammen; die schiefe Fläche der Ringe *FF*, *II* dagegen trägt nur einen einzelnen Strich als Zeichen, der über die ganze Länge von *HH* hinaufreicht. In die kurze Papprôhre *HH* werden die Analysirungsapparate gesteckt und mit ihr um den polarisirten Lichtstrahl gedreht.

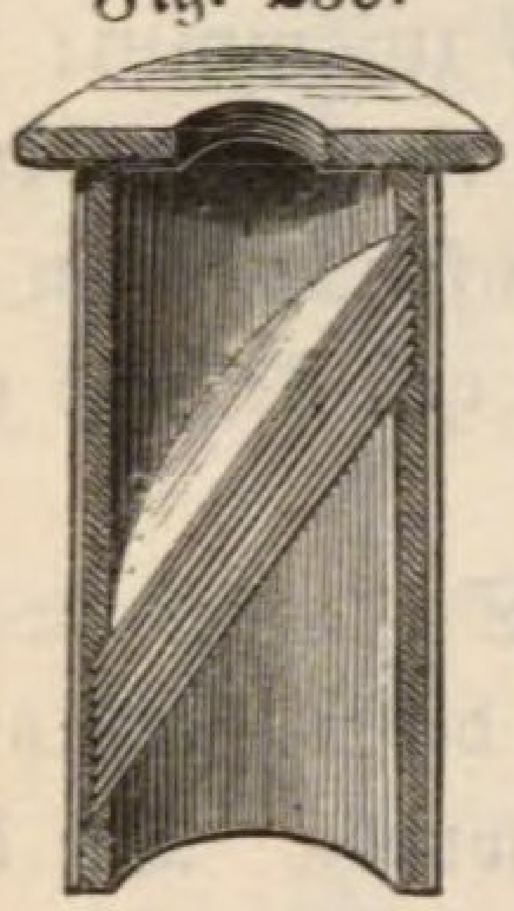
Unter den Analysirungsmitteln nimmt die erste Stelle der zweite 154
Spiegel ein, welcher ganz so gemacht werden kann, wie dieses bereits zu dem zuerst beschriebenen Polarisationsapparat angegeben wurde. Die den Spiegel tragende Papprôhre kann in die Röhre *HH* passen, oder über sie geschoben werden. Letzteres ist bequemer, da man dadurch für die beiden Holzstäbchen ohne überflüssige Verlängerung des Apparates eine gehörig lange Fläche zum Anleimen erhält. Diese Röhre erhält jedenfalls ein Zeichen, welches mit dem Zeichen auf *HH* correspondiren muß, wenn der zweite Spiegel mit dem ersten parallel steht.

In eine zweite in *H* passende Röhre richtet man oberhalb einen Boden, der so weit ausgeschnitten wird, daß man eine der Turmalinplatten aus der Turmalinzange, von der später die Rede wird, hinein bringen kann. Man zeichnet die Lage, welche die Platte haben muß, wenn ihre Axe in der Polarisationsebene liegt und zugleich das Zeichen auf dem Ringe *II* Fig. 238 mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfällt, auf dem Boden der zu ihr gehörigen in *HH* passenden Papprôhre. Diese Lage der Axe ist auch am verschliffenen Krystalle leicht zu erkennen, er läßt nämlich in dieser Lage kein durch den Spiegel *AB* polarisirtes Licht durch.

In eine dritte Röhre kommen 8—10 Glasplatten aus sehr dünnem und weißem Glase, sie erhalten in der Röhre eine gegen ihre Axe unter 35° 34′ geneigte Lage. Man erreicht dieses am besten, wenn man in die in *HH* passende Röhre eine zweite einleimt, die unter dem erwähnten Winkel abgeschnitten ist; auf diese legt man die Glasplatten und befestigt sie durch

ein anderes unter demselben Winkel abgeschnittenes Röhrenstück, welches von der untern Seite eingeleimt wird. Man trifft wohl mitunter sehr dünnes und weißes Spiegelglas unter den verschiedenen Resten der Glashändler, es ist jedoch seltener weiß genug, als man meinen sollte, um bei 8—10 Platten noch gehörig Licht durchzulassen. Es giebt indessen Glas von ausgezeichneter Dünnheit und Durchsichtigkeit, was man eben nöthigenfalls sich von einem Optikus kauft. Sollte man es nicht in der erforderlichen Größe erhalten, daß es eine in *HH* passende Röhre erfüllt, so läßt man eine in *HH* passen Röhre aus Lindenholz drehen, die so weit gebohrt ist, daß sie zu den vorhandenen Platten paßt. Selbst wenn die Röhre dadurch auch nur eine Oeffnung von einem halben Zoll bekäme, so wären die Platten noch brauchbar. Auch diese Röhre erhält oben einen Boden mit einer nur etwa ein Viertelzoll großen Oeffnung. Innerhalb werden ihre Theile vor der Zusammensetzung geschwärzt, und außen bekommt sie ein Zeichen in solcher Lage, daß die Platten mit dem Polarisationsspiegel parallel sind, wenn dieses Zeichen dem *o* der Theilung entspricht. Eine solche Röhre zeigt Fig. 239.

Fig. 239.

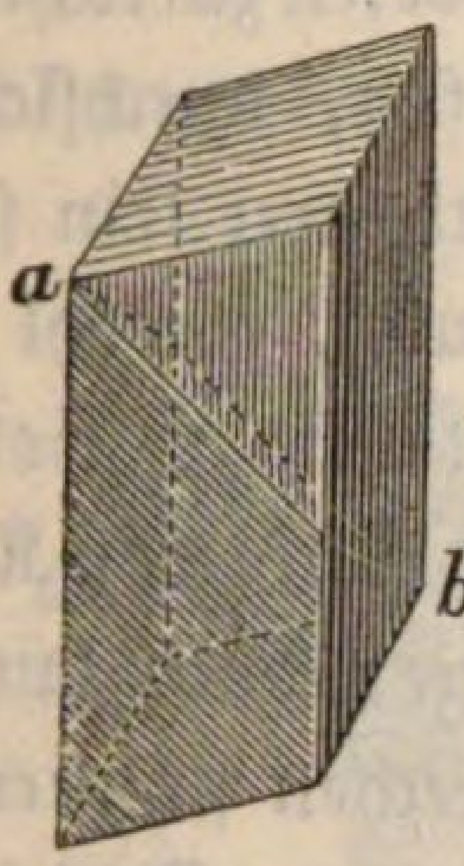


Eine vierte in *HH* passende Röhre enthält ein durch Glas achromatisirtes Doppelspathprisma. So wenig Widerstand der Doppelspath dem Schleifen entgegensetzt, so dürfte es doch im Allgemeinen gerathener sein, ein solches Prisma vom Optikus zu kaufen. Gerade seine Weichheit ist nämlich seiner Verschleifung hinderlich, weil selbst zarte Polirmittel noch im Stande sind, die vorher richtig geschliffenen Flächen zu ändern.

Uebrigens werden dazu gehörig reine Rhomboeder von 15—20 Millimeter Höhe und 10—15 Millimeter Dicke verwendet; der Schnitt wird durch die beiden stumpfen Ecken geführt und das weggeschnittene Stück durch ein gleich großes Glasstück ersetzt. Da Doppelspath, der zu optischen Zwecken brauchbar ist, in der neuern Zeit selten und theuer wurde, so sägt man das Rhomboeder mit einer Laubsäge unter steter Befeuchtung mit Wasser entzwei, um beide Hälften brauchen zu können. Das Schleifen der gesägten Fläche geschieht mit dem feinsten Smirgel auf einem frischen Stücke Spiegelgas, die Politur wird auf feinem Filze mit geschlämmten Englischroth (Colcothar) bewirkt. Die beiden zusammengehörigen Flächen des Glases und des Doppelspathes werden mit fast farblosem Canadabalsam zusammengekittet und die vier Seiten, durch welche der Schnitt geht, mit einem schwarzen Papiere umwickelt, welches man vorher mit Kleister bestrichen hat. Gewöhnlich kittet man auch auf die frei bleibende Seite des Doppelspaths ein danach zugeschliffenes Plättchen von dünnem Glase, mittelst Canadabalsam, damit

er gegen Risse u. dergl., welche seine Oberfläche undurchsichtig machen würden, geschützt sei. Auch dünnflüssiger Canadabalsam erhärtet an der Luft nach einiger Zeit, ist er aber an sich schon dickflüssiger geworden, so thut man gut, die zu kittenden Stücke vorher zu erwärmen. Ist der Canadabalsam zu zähe geworden, so ist er nicht mehr gut zu gebrauchen, und man muß denselben mit rectificirtem Terpentinöl unter Erwärmung verdünnen.

Fig. 240.



Zuletzt schneidet man in ein Stück Kork von der Dicke *a b* Fig. 240 ein zu dem Prisma passendes Loch, so daß das Prisma ohne Mühe hineingeschoben werden kann und doch fest sitzt. Der Kork wird nun in eine in den Polarisationsapparat passende Röhre so befestigt, daß die zur Krystallaxe senkrechte Linie sich der verticalen Stellung nähert. Auch an dieser Röhre wird äußerlich ein Zeichen angebracht, welches die Stellung des Hauptschnitts des Krystalls angiebt und beim Einstecken mit dem Zeichen der Röhren des Polarisationsapparates übereinstimmen muß.

Den Fundamentalversuch zur Lehre von der Polarisation muß man 155
in jedem Falle so anstellen, daß das polarisirte Licht auf den oberen Spiegel des Polarisationsapparates geleitet wird, es mag dieser nun ein Nörrembergischer oder ein anderer sein. Man wählt hiezu eine in passende Lage gestellte Kerzenflamme, und läßt die Zuhörer einzeln das Bild der Flamme im obern Spiegel verfolgen, während man denselben langsam um 180° um die Axe des Apparates dreht. Objectiv läßt sich der Versuch mit den Spiegeln nicht wohl machen, da bei der Drehung des obern Spiegels das Bild bald in größerer, bald in geringerer Entfernung, bald in senkrechtere bald in schiefer Richtung die Wände des Zimmers trifft und darum schon deshalb seine Intensität wechselt, ganz abgesehen davon, daß bei der Anwendung von Sonnenlicht immer zu viel nicht polarisirtes Licht auf den zweiten Spiegel kommt, als daß nicht auch in gekreuzter Lage etwas Licht von demselben reflectirt werden sollte. Nimmt man aber als Kopf des Polarisationsinstrumentes eines der andern Analysirungsmittel, so läßt sich der Versuch auch objectiv mit Sonnenlicht im dunklen Zimmer machen. Am wenigsten ist dieses aber bei dem achromatischen Doppelspathprisma der Fall. Man legt bei diesen Versuchen auf das mittlere Tischchen des Polarisationsapparates eine Blendung mit einer Oeffnung von etwa 2 Linien Weite.

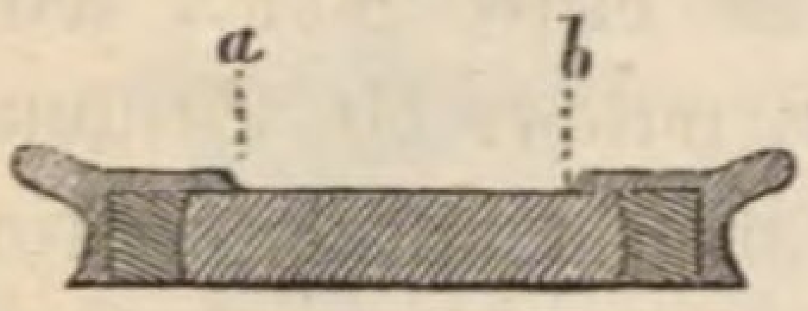
Die Turmalinzange. Fig. 241 (a. f. S.) zeigt den ganzen Apparat 156
in seiner Zusammensetzung verjüngt und Fig. 242 (a. f. S. eine einzelne Tur-

malinplatte in ihrer Fassung in natürlicher Größe. Die parallel mit ihrer optischen Axe geschliffene Platte wird in Kork gefaßt und dann in eine genau ihrer Dicke entsprechend ausgedrehte Fassung von Messing gedrückt. Die Oeffnung *a b* in dieser Hülse wird so groß gemacht, daß ihre Ränder den Krystall nur noch in seinen größten Dimensionen fassen; der noch unbedeckte Kork, so wie die vordere Seite der Messinghülse selbst wird geschwärzt. Die Dicke der Turmalinplatte, wie sie die Figur zeigt, ist auch für die hellgrünsten Sorten zureichend. Es ist der Arbeit wegen überhaupt vortheilhafter, durchsichtigere Sorten zu nehmen, wenn sie auch etwas theurer sein sollten, weil man sie nicht so dünn zu schleifen braucht, obwohl die dunkler gefärbten das Licht besser polarisiren. Solche dunkle Platten müssen oft bis zur Dicke von Kartenpapier geschliffen werden, um sie gehörig durchsichtig zu machen, und hiebei brechen sie gerne; jedenfalls müssen dieselben schon zum Schleifen auf eine Glasplatte gekittet werden. Der Draht, welcher beide Platten verbinden soll, wird wie in Fig. 241 gebogen, und außerdem erhält jedes Ende einen Riug von der Größe, wie es die außerhalb um die Fassung angedrehte Kehle erfordert. Vermöge der Elasticität des Drahtes — hart gezogener Messingdraht, auch versilberter Kupferdraht — kann man dann die Fassung ohne viele Mühe in den Ring drücken, und mit einiger Reibung darin drehen.

Fig. 241.



Fig. 242.

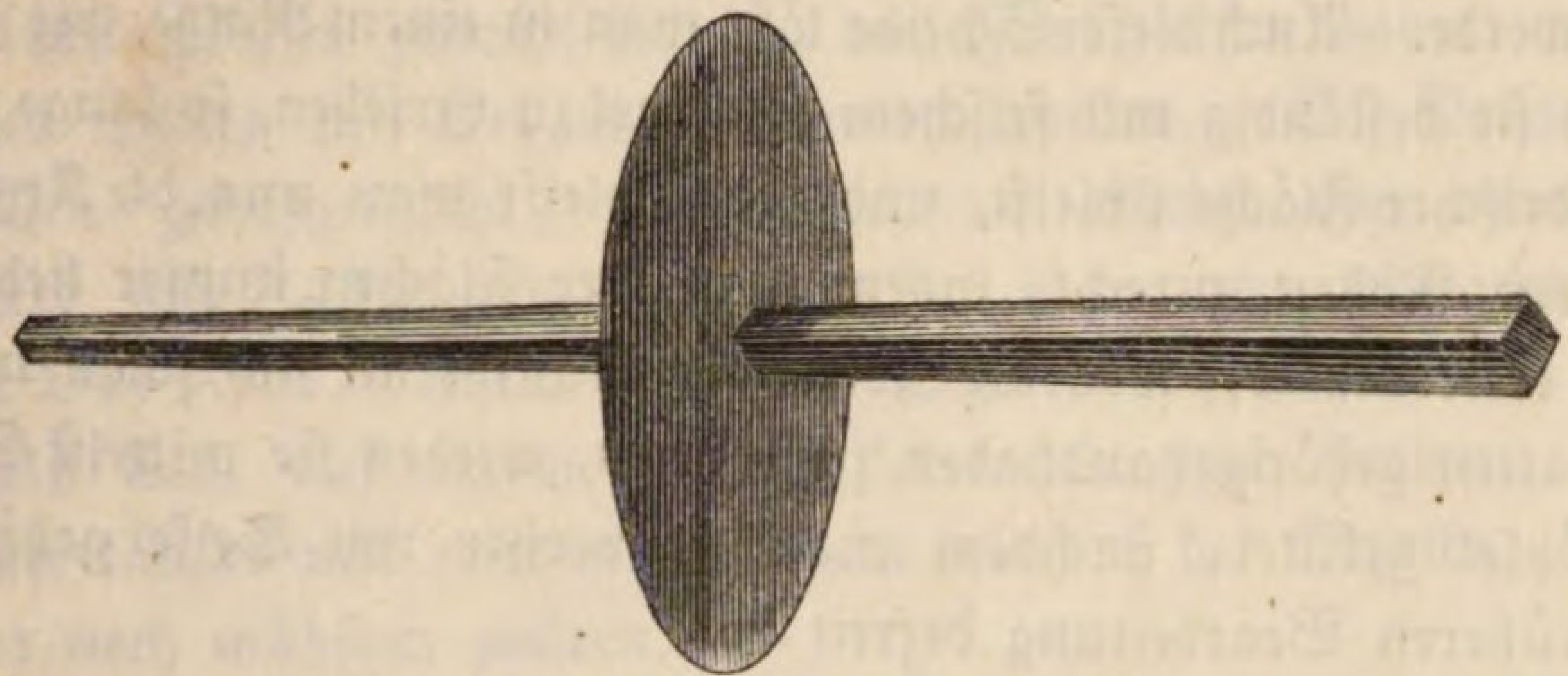


157 **Das Schleifen der Krystalle.** Was nun das Schleifen solcher Turmalinplatten betrifft, so gehört dieses zu den schwierigeren Arbeiten, weil sie sehr hart sind. Da man übrigens für das Studium der Polarisations-Erscheinungen doch öfter in den Fall kommen kann, sich Platten aus härtern Steinen schleifen zu müssen, so verlohnt es schon die Unkosten der Einrichtung. Bergkrystallplatten kann man zwar aus dem Rohen bei Krystall- und Granatenschleifern zuschleifen lassen, welche in der Regel sehr billig arbeiten; allein da sie auf dem runden Steine schleifen und poliren, so können sie keine ebene Flächen liefern, und man muß also das Ebenschleifen und das Feinschleifen, so wie das Poliren doch wieder selbst thun. Turmalin ist für sie übrigens zu hart.

Um solche Mineralien selbst zu schleifen, nimmt man eine runde Scheibe aus liniendickem Kupferblech von etwa 2 Zoll Durchmesser, durchbohrt sie in der Mitte und treibt einen verjüngt zulaufenden eisernen Dorn hinein, Fig. 243. Dieser wird auf der Drehbank entweder einerseits in ein Futter von viereckiger Oeffnung gesteckt, oder zwischen

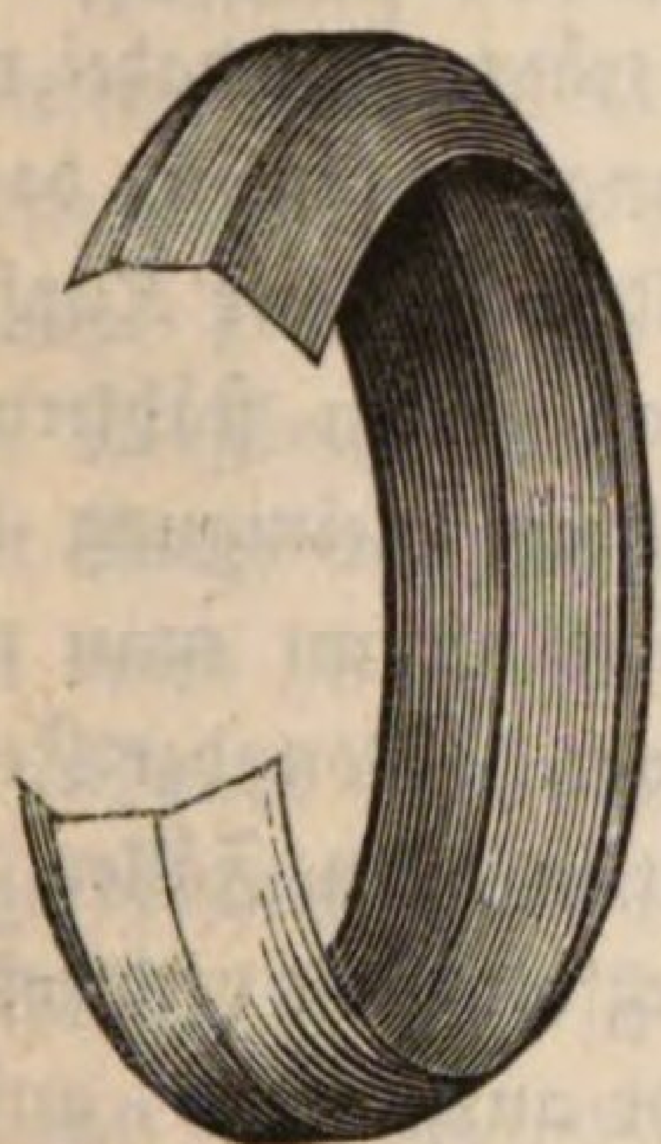
zwei Spitzen genommen und durch den Mitnehmer und ein Herz herum-

Fig. 243.



geführt. Die Scheibe wird abgedreht und mit einem langsam zulaufenden scharfen Rande versehen *). Man macht nun aus Blech eine Rinne wie Fig. 244, deren Oeffnung so groß ist, daß man die Kupferscheibe hineinbringen kann. ie Rinne umfaßt etwa $^4/_5$ — $^5/_6$ des Umfangs und wird so auf ein Klötzchen von entsprechender Höhe befestigt, daß sie ihren Ausschnitt dem Gesichte des Arbeiters zukehrt und die Kupferscheibe beinahe deren Boden berührt. In diese Rinne bringt man einen dünnen Brei aus gewöhnlichem Smirgel und Oel, und setzt die Scheibe mittelst der Drehbank in rasche Umdrehung. Eine solche Scheibe dient zum Entzweischneiden der härtern Krystalle überhaupt, und schneidet Turmaline sehr rasch durch.

Fig. 244.



Zum Ebenschleifen läßt man auf eine hölzerne Scheibe von 3 Zoll Durchmesser und einen halben Zoll Dicke einen liniendicken zusammengelötheten Reif aus Kupfer treiben, in welchen ein Boden von gleicher Dicke gelöthet ist, so daß das Kupfer wie ein Dosendeckel auf das Hobzfutter paßt, welches auf die Spindel der Drehbank geschraubt wird. Besser als dieses und dauerhafter, wenn gleich etwas theurer, ist es, wenn man aus Stangenkupfer eine Scheibe von dem angegebenen Durchmesser, aber nur etwa $^1/_3$ Zoll Dicke schmieden läßt, sie durchbohrt, ein Stück Kupfer oder Messing einlöthet und dieses mit einer in die Spindel der Drehbank passenden Schraube versieht. Sollte man letztere Arbeit scheuen, so könnte man sich auch damit begnügen, die rein gefeilte Scheibe soweit zu erhitzen, bis Siegellack darauf zerläuft, und sie dann auf ein mit brennendem Siegellack bestrichenes Holzfutter zu kitten.

*) Kupfer ist unangenehm zu drehen und zu bohren; wenn man es nicht fleißig, am besten mit Seifenwasser, benetzt, verliert man viele Zeit.

Diese massive oder nur mit Kupfer überlegte Scheibe wird nun abgedreht, so daß ihre vordere Seite möglichst eben und auch ihr Rand nur wenig convex werde. Auch diese Scheibe läßt man in einem Ringe, wie Fig. 244, laufen, um sie beständig mit frischem Smirgel zu versehen, so lange man auf deren cylindrischer Fläche schleift, und hier schleift man nun die Krystallplatten aus dem Rohen zurecht, indem man ihre Flächen immer lieber etwas concav als convex hält, was die Form der Scheibe an sich schon mitbringt. Um die Platten gehörig handhaben zu können, werden sie mittelst Siegellack auf Korkstöpsel gekittet, nachdem man sie vorher mit Seife gehörig vom Oele der früheren Bearbeitung befreit hat.

Hat eine Fläche so die gehörige Gestalt und Richtung erhalten, so schleift man dieselbe auf der Vorderfläche der Kupferscheibe eben, nachdem man den Blechring, Fig. 244, entfernt hat. Smirgel trägt man dabei mit einem Stäbchen auf, und läßt die Scheibe nur ganz langsam laufen; dagegen führt man die zu schleifende Platte in Epicykloiden auf der Kupferscheibe herum und untersucht deren Zustand fleißig mit einem stählernen Lineale. Zum Feinschleifen nimmt man nach sorgfältiger Reinigung der Kupferscheibe feinern Smirgelbrei, und die letzte Arbeit nimmt man mit ganz feinem Smirgel auf einem Stücke Spiegelglas vor. Von der Feinheit, mit der der Krystall matt geschliffen wird, hängt in allen Fällen der Erfolg ab, und man darf sich dabei die Mühe und Sorgfalt nicht verdrießen lassen. Das Polirmittel kann keine Unebenheiten mehr ausgleichen, außer bei ganz weichen Substanzen. Schleifsteine (Abziehsteine) jeder Art sind für Turmaline zu weich zum Feinschleifen, selbst Bergkrystall wird nur noch schwach angegriffen; besser sind sie für Glas und noch weichere Substanzen, bei welchen sie die Arbeit rasch fördern. Das Poliren geschieht auf der schon bei dem Artikel »Pendel« beschriebenen Polirscheibe unter möglichst rascher Umdrehung mit Wasser und Englischroth, zuletzt ziemlich trocken.

Der Turmalin kommt gewöhnlich in Säulen vor und die optische Axe ist ist mit der Längenaxe dieser Säulen parallel, wie beim Bergkrystall. Den Versuch mit gekreuzten oder parallelen Axen kann man übrigens mit den nächsten besten zwei durchsichtigen Turmalinstängelchen machen, ohne daß sie deswegen geschliffen werden müßten.

Auf ähnliche Weise werden alle härtere Krystalle, die man brauchen sollte, behandelt; indessen ist es wohl selten, daß man außer Turmalin und Bergkrystall noch andere zu den gewöhnlichen optischen Zwecken selbst verarbeitet.

Weichere Substanzen schleift man immer nur auf Glas und Smirgel, oder auch nur auf matt geschliffenem Glase oder einem Schleifsteine. Ein feiner gelber Oelstein ist zum Feinschleifen sehr wohl geeignet und giebt ein ausgezeichnetes Matt, nur Doppelspath bröckelt gern etwas aus,

wenn man ihn auf einem Steine oder auf mattem Glase ohne Schleifmittel schleift. Substanzen, die sich im Wasser auflösen, kann man roh ebenfalls mit Wasser zurecht richten; das Feinschleifen dauert länger und muß daher immer mit Oel vorgenommen werden. Die Politur wird in allen Fällen gleichgemacht, selbst Salpeter erträgt ein etwas feuchtes Polirmittel, nur Zucker muß ganz trocken oder unter schwacher Befeuchtung mit Oel polirt werden. Weiche Substanzen kann man zwar mit Englischroth auch auf einem weichen Leinwandlappen poliren, es dauert aber immer länger und wird nie so schön wie auf der Scheibe. Glas läßt sich so nur noch mühsam poliren.

Fassung der Krystalle. Alle diese Krystalle werden in schön ge- 158
schnittene oder gefeilte Korkscheiben gefaßt, die etwas weniges dicker sind, als sie selbst, und so breit, daß sie zwischen den beiden Theilen der Turmalinzange hervorragen. Wo man dergleichen haben kaun, kauft man gezogene Messingröhren, wie sie zu den Auszugfernröhren gemacht werden, sticht Ringe von passender Breite davon auf der Drehbank herunter, und paßt dann die Korkplatten hinein.

Solche Krystallplättchen, die entweder an sich zu dünne, und also zu zerbrechlich wären, wie dünne Glimmer- und Gypsplättchen, oder solche, welche an der Luft Feuchtigkeit annehmen oder sich sonst zersetzen, und ihre Politur verlieren, wie Salpeter, Zucker, kohlensaures Blei u. dergl., kittet man mittelst Canadabalsam zwischen zwei runde Blättchen von gewöhnlichem dünnen Spiegelglase. Es ist dieses Verfahren aber auch für andere Krystalle zu empfehlen, da es die Durchsichtigkeit derselben wesentlich erhöht und Fehler der Politur ausgleicht. Man bringt dabei zuerst ein Tröpfchen Balsam auf das eine Glas und legt die Krystallplatte von ihrem Rande an in schiefer Richtung allmälig auf den Tropfen nieder, indem man ihn auseinanderdrückt; dann bringt man ein Tröpfchen Balsam auf den Krystall und macht es jetzt mit der zweiten Glasplatte, wie vorher mit dem Krystalle. Bei dünnen Krystalllamellen füllt sich der noch übrige Zwischenraum der Platten mit Balsam, und sie halten hinlänglich. Bei dickern Krystallen ist es nicht immer so, und es ist sehr gut, einen Streifen beleimtes Papier darum zu wickeln, bis der Balsam hart geworden ist. Jedenfalls klebt man einerseits ein schwarzes, andererseits ein weißes Papier auf die Glasplatten, in welche beide Oeffnungen nach der Größe des Krystalls geschnitten wurden. Das schwarze Papier wird bei der Beobachtung im Polarisationsapparat gegen das Auge gekehrt, das weiße erhält den Namen des Krystalls nebst der Bezeichnung der Lage optischer Axen u. dergl.; bei in Kork gefaßten Krystallen schreibt man letzteres auf den Kork selbst. Wenn die Krystallplatten dick sind, so ist es überhaupt gut, den um die Peripherie

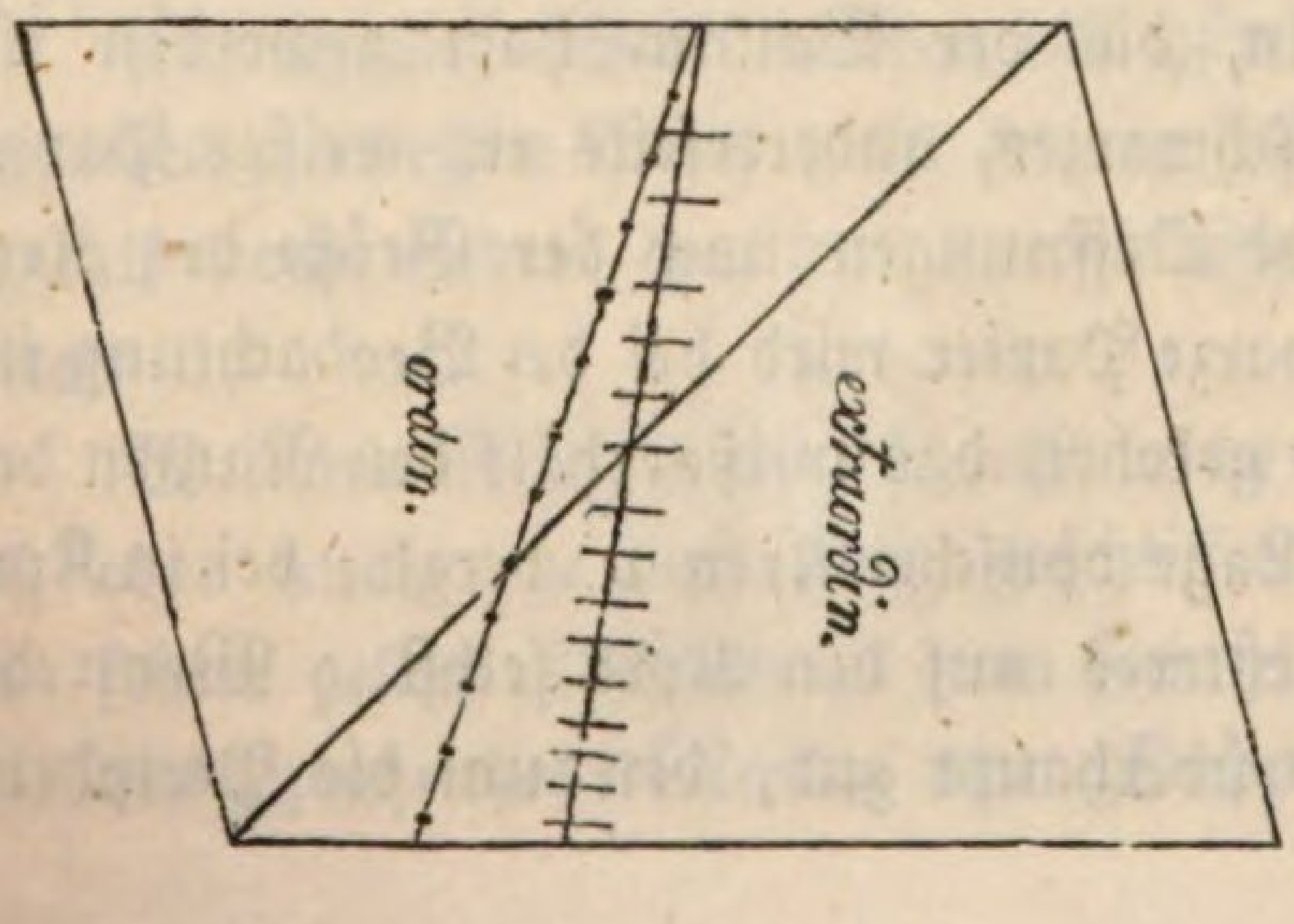
der Glasplatten geleimten Papierring daran zu lassen; man nimmt denselben zu dem Ende so breit, daß er ringsum auf beide Platten etwa eine Linie breit umgelegt werden kann, und schneidet den hiezu über die Fläche der Gläser hervorstehenden Papierrand ein; erst nachher klebt man dann das weiße und schwarze Papier auf. Die Gläser sind so vor allerlei zufälligen Schäden besser geschützt.

Man kann auch kleinere Glasplatten nehmen — runde oder paarweise gleiche viereckige — und in eine Korkscheibe, die so dick ist, als die Glasplatten sammt dem Krystalle, eine zu den Platten passende Oeffnung schneiden, dann zuerst die eine Glasplatte eindrücken, auf diese den Krystall kitten, und auf diesen und den Kitt die andere Glasplatte in den Kork drücken, wodurch man ebenfalls eine ganz gute Fassung erhält.

G. Versuche über die doppelte Brechung.

159 Für die Erläuterung der Gesetze der doppelten Brechung muß man zuerst die Krystallform des Kalkspathes erläutern, so wie die damit verbundenen Begriffe, von Hauptschnitt und Hauptaxe. Man verfertigt hiezu eine doppelte sechsseitige Pyramide von Holz, deren Hauptaxe 4—6 Zoll beträgt; so wie eine ähnliche mit abgestumpften Seitenkanten. Außerdem verfertigt man einen Rhomboeder von etwa 4 Zoll Seite, indem man die Kantenwinkel des Kalkspathrhomboeders von 74° 55′ und 105° 5′ in Blech ausschneidet, um sie als Schablone zu benutzen. Man zeichnet sodann auf diesen Rhomboeder den Hauptschnitt und zwei mit ihm parallele, so wie zwei zur Hauptaxe senkrechte Schnitte, und läßt es nun von einem Schreiner mittelst einer Säge mit schmaler Bahn in den angegebenen Richtungen zerschneiden. Auf die Schnittflächen leimt man nachher dickes Papier, um den Sägenschnitt zu ersetzen, und schlägt kurze Stifte in die Theile, um sie nach Belieben wieder zusammenstecken zu können. Auf dem Hauptschnitte und den mit ihm parallelen Schnitten zeichnet man auch durch einen starken Strich die Richtung der Axe, so wie einen doppelt gebrochenen Lichtstrahl mit den Schwingungsrichtungen der Aethertheilchen im ordentlichen und außerordentlichen Strahl, wie in Fig. 245

Fig. 245.



Für die Versuche mit dem Doppelspathe muß man das vorhandene Stück nur soweit zurecht spalten, daß man zwei einander gegenüber- 160
liegende reine Flächen hat. Bei dem Bergkrystalle ist jedoch die doppelte Brechung viel schwerer zu sehen, da die Lage der Flächen gegen die Axe der Erscheinnng nicht günstig ist, und die eigenthümliche Streifung dieses Minerals das deutliche Hervortreten derselben noch mehr hindert. Am besten ist es, einen etwa fingerdicken recht reinen Krystall auf allen seinen Krystallflächen oder wenigstens auf zweien nicht an einander liegenden und nicht parallelen Seitenflächen eben zu schleifen und wieder zu poliren, durch zwei solche Flächen sieht man die doppelte Brechung sehr gut, man kann sie dann auch als Prisma gebrauchen und im dunkeln Zimmer einen Sonnenstrahl darauf leiten, wodurch man zwei, freilich dicht aneinander liegende Spectra erhält. Sind alle natürlichen Flächen angeschliffen, so kann man auch durch eine der Pyramidenflächen und eine Seitenfläche sehen. Zwei an einanderstehende Flächen machen einen zu stumpfen Winkel mit einander, als daß sie gebraucht werden könnten. Man kann auch aus einem abfallenden Stückchen Doppelspath ein Prisma schleifen, wie es sich gerade gibt, um die doppelte Brechung im dunkeln Zimmer zu zeigen; die Spectra fallen hier weit aus einander.

Die einzelnen Versuche, welche man über die doppelte Brechung an- 161
stellt, müßten einerseits die Lage der beiden gebrochenen Strahlen gegeneinander und ihren Polarisationszustand nachweisen, andererseits den Einfluß der doppeltbrechenden Mittel auf polarisirtes Licht zeigen. Um das erstere zu erreichen, legt man am besten einen Doppelspath auf weißes Papier über einer recht schwarzen Linie, die aber nicht so groß ist, als die von der Dicke des Krystalls abhängige Entfernung beider Bilder; die Linie muß mit dem Hauptschnitte des Krystalls parallel sein. Da mehrere Personen zugleich die Beobachtung machen können, so dreht man den Krystall mit dem Papiere im Kreise herum, so daß der Hauptschnitt desselben nach und nach einem jeden Beobachter in das Gesicht kommt, also jeder die beiden Linien in einer Geraden hinter einander sieht, während in allen andern Lagen das eine Bild nach und nach um das andere herumgeht.

Um den Polarisationszustand der beiden Strahlen zu zeigen, belegt man den Polarisationsspiegel am Nörremberg'schen Apparate mit weißem Papiere und bringt auf das mittlere Tischchen eine Blendung mit einer nur etwa ein Millimeter weiten Oeffnung (bei dickeren Rhomboedern kann die Oeffnung größer sein; jedenfalls darf sie nicht so groß sein, daß die beiden Bilder sich zum Theil überdecken) und legt darauf den Doppelspath. Wird nun der zweite Spiegel zur Analysirung des Lichtes verwendet, so sieht man in den Fällen, wo die Reflexionsebene des Spiegels mit dem Hauptschnitte des Krystalls gekreuzt oder parallel steht, nur ein Bild

der Oeffnung in dem Tischchen, in allen andern aber zwei, die nur dann gleich stark sind, wenn der Hauptschnitt mit der Reflexionsebene einen Winkel von 45° macht.

Ganz dieselbe Erscheinung erhält man, wenn man durch die Oeffnung im mittlern Tischchen des Polarisationsapparates polarisirtes Licht leitet, und die Oeffnung durch einen Doppelspath betrachtet; darauf eben beruht die Anwendung des Doppelspathes als Kopf des Polarisationsapparates, wie derselbe oben beschrieben wurde.

Wird nicht polarisirtes Licht durch denselben betrachtet, so zeigt er in jeder Lage zwei Bilder.

Zur Ergänzung kann hier noch der Versuch von Huyghens gemacht werden mit zwei Kalkspathrhomboedern übereinander, wovon das eine ruhig über einem weißem Papiere mit schwarzem Punkte liegen bleibt, während man das andere über diesem dreht, so daß die Hauptschnitte nach und nach alle Winkel zwischen 0 und 360 miteinander machen.

162 Ein für Beobachtung der Polarisationserscheinungen vorzüglicher Apparat ist das Nikol'sche Prisma. Zwei derselben in Kork und Messingröhren gehörig gefaßt, ähnlich wie dieses für das achromatische Doppelspathprisma oben beschrieben wurde, wirken wie die Turmalinzange; sie lassen nur dann Licht durch, wenn ihre Hauptschnitte parallel stehen; sie haben aber vor der Turmalinzange den Vortheil größerer Helligkeit, indem sie aus an sich farblosem Materiale bestehen. Man bekommt dieselben von den Optikern zu verschiedenen Preisen, je nach dem Sehfelde, d. h. je nach der Größe des dazu verwendeten Doppelspathes. Kauft man dergleichen — und es wird wohl das rathsamste sein — so muß man sie doch nicht zu zu klein nehmen, die offene Fläche eines solchen Nikols sollte mindestens ein Centimeter Seite haben. Der Preis übersteigt den der Turmalinzange um's Doppelte.

Man richtet jedenfalls auch eine Röhre, um das Nikol'sche Prisma auch am Polarisationsapparat statt des Spiegels brauchen zu können. Am besten dreht man hiezu eine kurze in die Röhre *HH* Fig. 237 passenden hölzernen Röhre, deren Oeffnung der Fassung des Nikol'schen Prismas entspricht.

H. Versuche über die Farben doppeltbrechender Krystallplatten im polarisirten Lichte.

Farben dünner Blättchen. Um die erforderlichen dünnen Blätt-
163 chen leicht zu erhalten, sind nur Gyps und Glimmer geeignet, und von ersterm Vorzugsweise nur der Gyps von Montmartre; von anderm

Gypse erhält man zwar dicke und reine, namentlich wasserhelle Platten, was ihn zu einigen später zu erwähnenden Versuchen vorzugsweise geschickt macht, allein man erhält daraus schwieriger dünne Blättchen von einiger Ausdehnung; ein Blättchen aber von einiger Ausdehnung und ziemlicher Feinheit hat man nöthig, um dasselbe zu zwei zu zerschneiden, damit man zwei gleichdicke Blättchen erhalte. Es ist gut, wenn diese Blättchen, die nach dem Blätterdurchgange natürliche Rautengestalt haben, um die Richtungen der Axen bequemer bestimmen zu können. Sie werden mit dem Messer abgespalten.

Man kittet sie mit Canadabalsam zwischen reine Glasplättchen von höchstens einem Zolle Durchmesser, und versieht sie mit den erforderlichen Aufschriften, welche die Farbe des Blättchens und allenfalls auch die Ordnung derselben nach dem Newton'schen Ringen enthält.

Andere Krystalle parallel mit der Axe so dünn zu schleifen, daß sie Farben zeigen, ist sehr schwierig, da selbst bei Bergkrystall die Dicke schon unter 1/4 Millimeter betragen muß.

Keilförmig geschliffene Gypsblättchen kann man sehr leicht auf folgende Weise machen. Man nimmt ein reines Gypsblättchen, dessen Dicke 1/2 — 2/3 Millimeter beträgt, hält es mit dem Finger flach auf die mit Englischroth versehene und etwas stark feuchte Polirscheibe und übt dabei mit dem Finger gegen den einen Rand hin einen stärkern Druck aus, während man die Scheibe schnell laufen läßt. Das Polirmittel ist scharf genug, um den weichen Gyps zu schleifen. Man setzt das Schleifen fort bis der eine Rand des Blättchens sich ausschleift und die angegriffene Fläche eine Breite von etwa einem Centimeter hat. Auch diese Blättchen werden eingekittet. Will man die Streifen breiter, bis zu einer Linie breit haben, so kittet man ein etwa 2 Centimeter Seite haltendes Gypsblättchen auf ein viereckiges Stückchen von dünnem Spiegelglase und läßt den Canadabalsam hart werden, was bei dünnflüssigen Balsam auch auf dem warmen Ofen oder in der Sonne einige Tage erfordert. Man reibt dann mit einem Stückchen Glase auf einer Spiegelplatte etwas Smirgel recht fein ab und schleift darauf den Gyps, den man nachher von der Hand auf der feuchten Polirscheibe polirt, und eine zweite Glasplatte darauf kittet.

Die Versuche selbst lassen sich am bequemsten mit dem Nörremberg'- 164
schen Polarisationsapparate ausführen, wobei man den Spiegel als Analysirungsmittel anwendet. Die Krystallplatten kommen auf das mittlere Tischchen und der Spiegel wird um den polarisirten Strahl gedreht. Die Gypsblättchen zeigen dabei im gekreuzten Spiegel die complementäre Farbe von jener, welche sie bei paralleler Lage beider Spiegel zeigen. Bringt man die keilförmigen Blättchen zwischen Nikol'sche Prismen oder in die Turmalinzange, so müssen sie sich in der Weite des deutlichen Sehens vom Auge

befinden. Da dieses auch beim Polarisationsapparate gilt, so muß man für Kurzsichtige das mittlere Tischchen, wenn es nöthig wäre, herauf rücken.

Sind die Blättchen nicht überall gleich dick, so zeigen sie bunte Farben; die keilförmig geschliffenen Blättchen zeigen die Newton'schen Farben, und bei einfarbigem Lichte abwechselnd helle und dunkle Streifen. Man kann hier die Aufeinanderfolge der Newton'schen Farben am allerschönsten und bequemsten studiren. Sollte das Gypsblättchen zu steil sein, um die farbigen Streifen in gehöriger Breite zu sehen, so darf man nur auf den Drahtring, der an dem Korke zwischen beiden Tischchen des Polarisationsapparates sich befindet, eine Lupe legen und sie in die zum deutlichen Sehen erforderliche Entfernung von dem Gypsblättchen bringen. Es ist dieses namentlich dann zu empfehlen, wenn man dadurch, daß man ein einfarbiges Gypsblättchen in gekreuzter Lage der Axen auf ein keilförmiges legt, erkennen will, welche Farbe des letztern durch das erstere gelöscht wird, um hieraus zu erkennen, welcher Ordnung das Roth, welches z. B. das erstere für sich allein zeigt, angehöre. Dieses Aufsuchen wird auch dadurch sehr erleichtert, daß man das gleich dicke Blättchen so über das keilförmige legt, daß noch ein Theil des letztern unter jenem hervorsteht; an dem hervorstehenden Theile entspricht dann jener Stelle, die im bedeckten Theile schwarz erscheint, ein farbiger Streifen von der Farbe des gleichdicken Blättchens. Die Ordnung der Farben ist nach Newton folgende: Schwarz; 1) Blau, Weiß, Gelb, Roth; 2) Violet, Blau, Grün, Gelb, Roth; 3) Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth; 4) Grün, Roth; 5) Blau, Roth; 6) Blau, Roth; 7) Blau, Roth.

165 Da Gypsblättchen, wenn man sie so aufeinander legt, daß die entsprechenden Schwingungsebenen zusammenfallen, die Farbe eines Blättchens von der Summe beider geben, oder, wenn sich die entsprechenden Schwingungsebenen kreuzen, eine Farbe von der Differenz beider, so gibt dieselbe ein Mittel, die schon vorher, aus dem Verschwinden aller Farben an jedem einzelnen bestimmten Schwingungsebenen von einander zu unterscheiden, und es wird gut sein, wenn man die entsprechenden Schwingungsebenen an allen Blättchen auf der Fassung gleich bezeichnet. Wendet man als Analysirungsapparat das achromatische Doppelspath-Prisma an, so erscheinen dünne Blättchen doppelt, und die beiden Bilder sind complementär gefärbt. Sie wechseln ihre Farbe bei der Drehung des Prismas. An der Stelle aber, wo beide Bilder einander überdecken, erscheinen sie weiß. Es ist dieses auch ein gutes Mittel, die richtige Stellung des Doppelspathes in seiner Röhre zu ermitteln. Die überdeckte Stelle erscheint nur weiß, wenn beide Bilder gleich stark sind, und wenn dieses nicht der Fall ist, so ändert man die Stellung des Doppelspathes.

Wendet man ein Nikol'sches Prisma an, so sieht man das Blättchen nur einfarbig, die Wirkung ist übrigens übereinstimmend mit der Wirkung des Spiegels.

Man kann die Versuche auch machen, wenn man die Gypsblättchen nur auf einen am Fenster stehenden Tisch legt, und sie durch einen der analysirenden Apparate in schiefer Richtung betrachtet.

Farbige Ringe bei Krystallplatten, welche senkrecht zur Axe ge- 166
schliffen sind. Vor allem muß hier der Doppelspath erwähnt werden. Man braucht zu diesem Versuche nur einen kleinen Rhomboeder, die Arbeit wird aber sehr erleichtert, wenn er regelmäßig zugespalten wurde, da dann die drei das stumpfe Eck des Rhomboeders bildenden Kanten gleich lang stehen bleiben müssen. Das Schleifen muß hier unter ganz gelindem Drucke mit Smirgel auf einer Glasplatte geschehen, da die kleinen Rhomboedereckchen leicht aus der geschliffenen Fläche ausbröckeln. Wenn die abgeschliffene dreieckige Fläche 5 Millimeter Seite hat, so kann man die Erscheinung schon gut sehen; die Platte muß jedenfalls auf die Dicke von etwa $1\frac{1}{2}$—1 Linie heruntergebracht werden, weil sonst das Ringsystem einen zu kleinen Durchmesser erhält.

Die Beobachtung wird gewöhnlich mit der Turmalinzange gemacht, indem man die in Kork gefaßte Krystallplatte zwischen die Turmaline legt, deren Axen entweder gekreuzt oder parallel sind. Daß der Kork etwas dicker sein müsse als die Platte, zur Schonung letzterer, wurde schon früher erwähnt. Schöner zeigt sich aber die Erscheinung zwischen zwei Nikol'schen Prismen. In beiden Fällen hält man den Apparat dicht vor das Auge gegen das helle Licht des Himmels gerichtet; die Lage der Krystallplatte ist dabei gleichgültig. Für die Beobachtung mit einfarbigem Lichte kann man entweder gefärbte Gläser anwenden, — wenigstens wenn man zwei Nikol'sche Prismen statt der Turmalinzange braucht, oder die mit Kochsalz gelb gefärbte Weingeistflamme, was jedenfalls vorzüglicher ist. Die Ringe scheinen dabei fast in's Unendliche fort vorhanden zu sein.

Hat ein Krystall, wie das schwefelsaure Nickel, selbst schon eine sehr intensive Färbung, so giebt er für sich schon abwechselnd helle und dunkle Ringe in großer Zahl, wenigstens wenn die Krystallplatte sehr dick ist — liniendick — oder wenn man die Turmalinzange anwendet, deren Farbe jene des Krystalls unterstützt; darum zeigen sich auch die Ringe bei chromsaurem Kali in der Turmalinzange weniger einfarbig. Da bei schwefelsaurem Nickel ein Blätterdurchgang senkrecht zur Axe stattfindet, so lassen sich solche Platten leicht erhalten; doch sind die Spaltflächen nicht immer ganz rein; auf der Polirscheibe oder dem Leinwandlappen hilft man diesem leicht nach, das Polirmittel darf aber kaum feucht werden.

Um die Ringe in Eis zu sehen, darf man nur ein ebenes Stück Eis aus einer Eisdecke von etwa 1 Zoll Dicke herausschlagen und dasselbe zwischen die Turmalinplatten nehmen.

167 Diese Erscheinungen alle lassen sich sehr schön objectiv darstellen, wenn man die Krystallplatten zwischen der Turmalinzange oder noch besser zwischen Nikol'schen Prismen lediglich in den Brennpunkt der Beleuchtungslinse des Sonnenmikroskops bringt, ohne eine besondere Vergrößerungslinse anzuwenden; man fängt das Bild in beliebiger Entfernung auf einer weißen Wand auf.

Um die Turmalinzange oder die Nikol'schen Prismen nicht halten zu müssen, da man die Hände zur Regulirung des Spiegels braucht, macht man sich einen eigenen Ansatz von Holz, der in die Röhre *m m*, Fig. 213, paßt, und der vorn soweit ausgedreht und mit einem Einschnitte versehen ist, daß man die Turmalinzange hineinsetzen und durch ein bewegliches Blechfederchen festhalten kann.

Fig. 246.

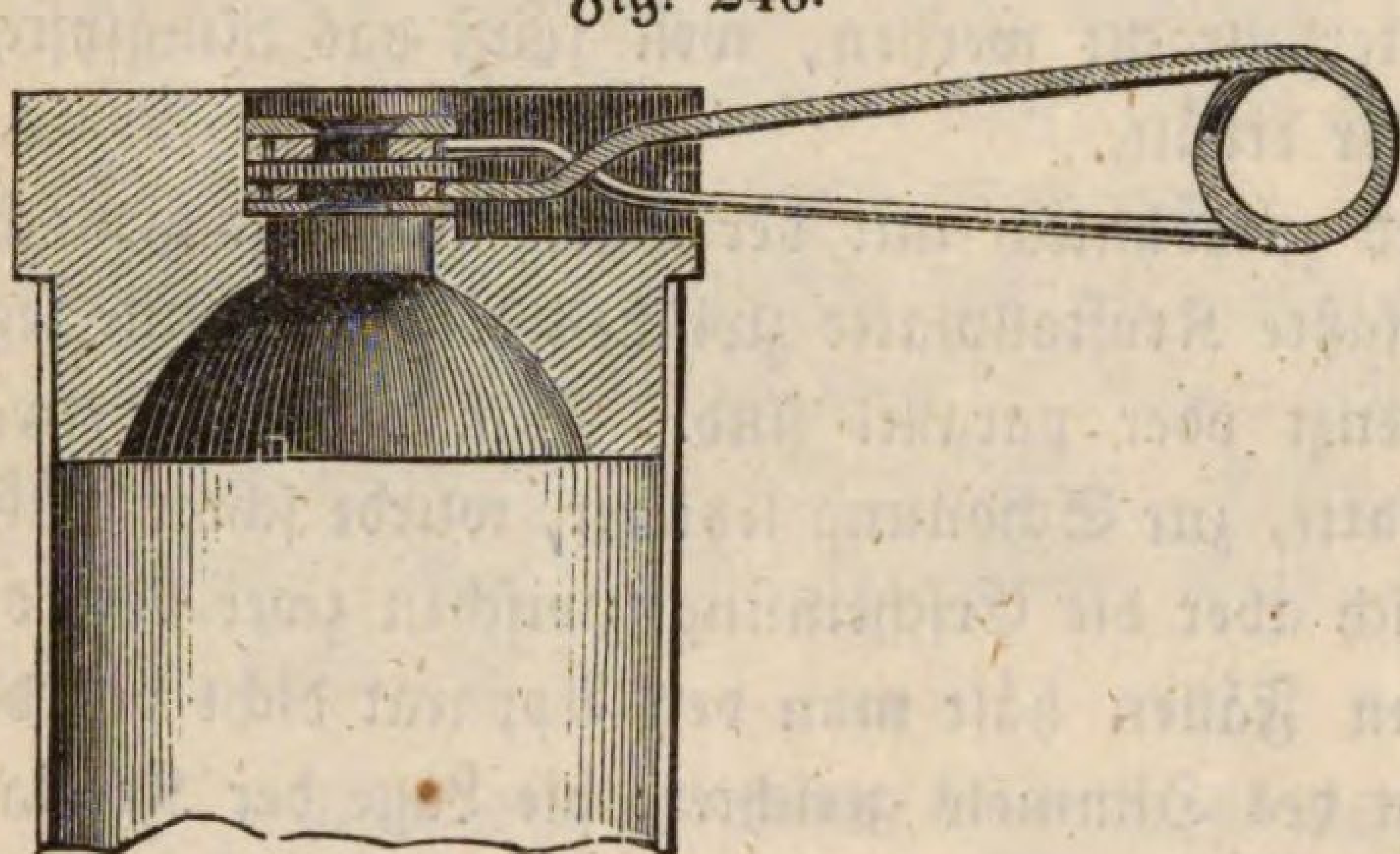


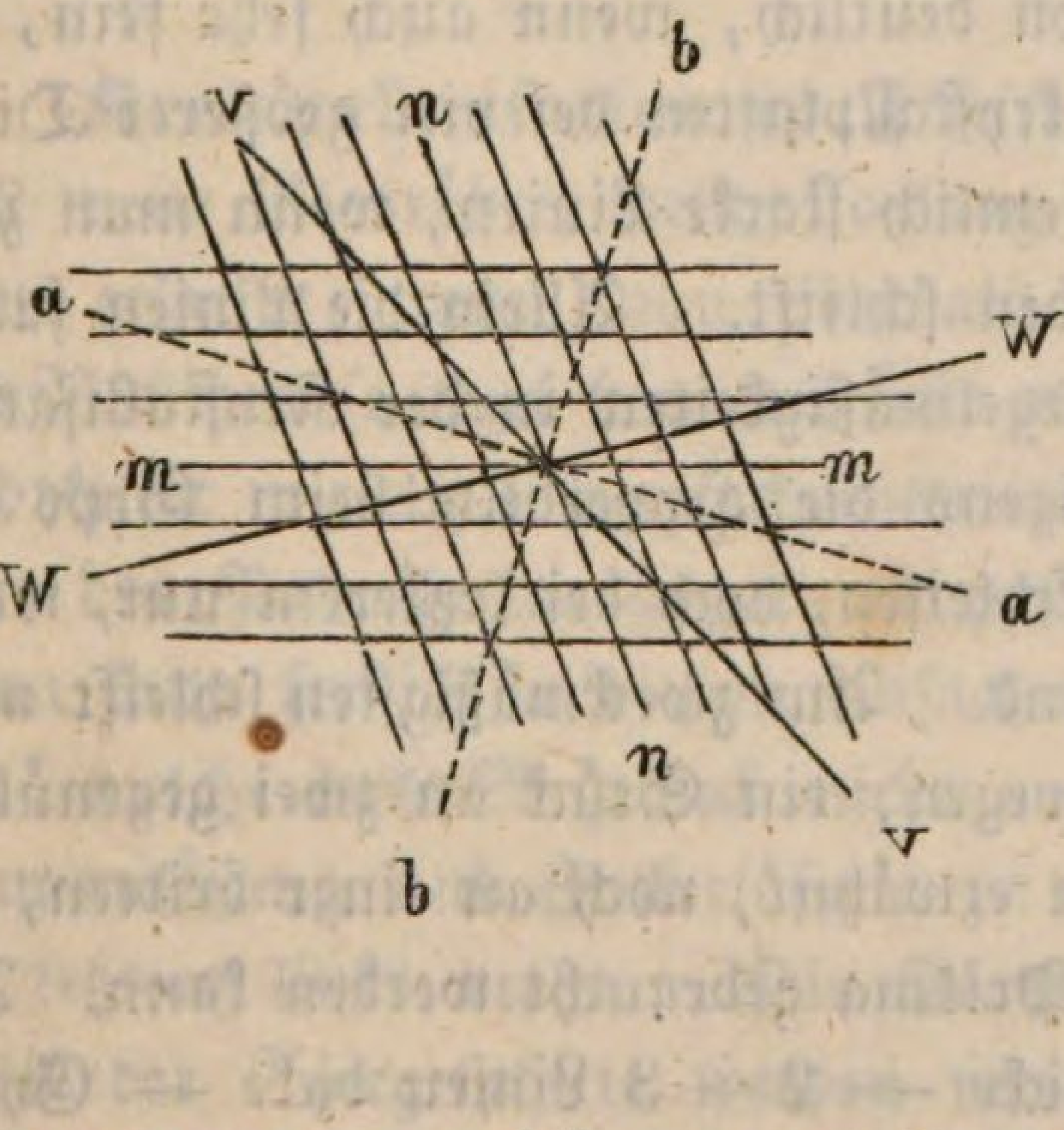
Fig. 246 zeigt eine solche Vorrichtung für die Turmalinzange. Eine ähnliche Einrichtung für Nikol'sche Prismen wird man sich je nach der Fassung derselben leicht machen können: es gehören aber dazu Prismen von etwas größerem Sehfeld, und diese sind sehr theuer. Will man die Ringsysteme im gewöhnlichen Polarisationsapparate betrachten, so muß die Krystallplatte möglichst nahe, unmittelbar unter den Analysirungsapparat gebracht werden. Es geht dieses wohl an bei dem Nikol'schen Prisma und dem Doppelspath-Prisma (letzteres zeigt aber beide Ringsysteme — das schwarze und weiße Kreuz — einander theilweise überdeckend), keineswegs aber bei den Spiegeln; dagegen kann man die Ringe sehr gut sehen, wenn man auf das mittlere Tischchen des Polarisationsapparats eine Linse von 1—$1\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite legt und über dieser auf den Drahtring etwa in der Brennweite oder näher an der Linse die Krystallplatte anbringt und eine zweite Linse in die Röhre *HH*, Fig. 237, einpaßt, welche gerade um ihre Brennweite von der Krystallplatte absteht. Auch mit letzterer Linse allein kann man die Ringe sehen, aber nur viel weniger deutlich, ebenso wenn man die Krystallplatten auf den untern Spiegel legt und über ihnen in der Entfernung der Brennweite eine Linse

anbringt. In letzterm Falle sind sie aber klein, und doppelt und darum undeutlich.

Unter den **zweiaxigen Krystallen**, deren Axen nur einen kleinen Winkel miteinander machen, so daß man eine Platte senkrecht zur Mittellinie schleifen und doch nach beiden Axen sehen kann, steht wohl im Allgemeinen nur der Salpeter zu Gebot. Wenn man selbst im Laden nachsucht, so findet man in jedem Fasse ziemlich viele dicke Krystalle; ihr Kern ist porös, aber ihre Seitenflächen sind mit mehr oder weniger glasigen, oft bis zwei Linien dicken Platten belegt. Von diesen sucht man die reinsten aus und sägt daraus Platten senkrecht zur Seitenfläche der Krystalle. Diese Platten werden auf einem Abziehsteine, oder einer matten Glasplatte geschliffen, wie gewöhnlich polirt und zwischen Glasplatten gekittet. Soll eine solche Platte um jede Axe 4—5 geschlossene Curven zeigen, so muß sie $1\frac{1}{2}$—2 Linien dick sein, bei der Dicke von etwa $\frac{1}{5}$ Linie schließt sich keine Curve mehr um ein Axe. 168

Unter den Krystallen, deren Axen einen großen Winkel machen, sind Gyps, Zucker und saures chromsaures Kali am leichtesten zu haben. Gyps kommt in Säulen und noch häufiger in Platten von ziemlicher Dicke und Reinheit vor. Diese Platten spalten aber gerne parallel mit den optischen Axen in dünnere Platten. Außerdem finden sich zwei einander unter einem Winkel von ohngefähr 67° durchkreuzende Blätterdurchgänge *mm*, *nn*, Fig. 247, wodurch eben die abgespaltenen dünnen Blättchen die früher erwähnte rhombische Form erhalten. Nimmt man nun eine solche Platte zwischen die Turmalinzange, und dreht sie zwischen derselben bei gekreuzten Turmalinen in eine der zwei zu einander senkrechten Lagen, wo kein Licht durchgelassen wird, so bezeichnen die Axen der Turmaline die beiden Linien *aa*, *bb* auf der Gypsplatte, und eine von diesen macht mit einem der Blätterdurchgänge einen Winkel von etwa 16 Graden, und diese Linie ist es, welche den Winkel von 60 Graden halbirt, den die beiden optischen Axen des Gypses *vv*, *ww* miteinander machen, welche demnach leicht auf der Platte verzeichnet werden können. Man sägt nun aus dem Gypse eine zu der Ebene der Axen und zu einer derselben senkrechte in der Axenrichtung 2 — 3 Linien Dicke und etwa quadratische Platte heraus, umwickelt sie über den Rand mit stark gewichsten Faden, um weiteres

Fig. 247.



Spalten nach der Ebene beider Axen zu verhüten und schleift und polirt sie dann. Die dicksten brauchen höchstens eine Linie dick zu sein.

Zucker krystallisirt in Säulen mit zwei dachförmig gegeneinander stehenden Zuspitzungsflächen. Der Blätterdurchgang halbirt den Winkel, welchen diese beiden Flächen unter sich bilden, und in dieser Richtung sind die Krystalle leicht spaltbar, doch sind die Flächen für sich nicht rein genug, man muß durch Schleifen und Poliren nachhelfen. Da die Platten nur dünn zu sein brauchen ($\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Linie dick), so findet man in dem käuflichen weißen Kandis schon hinreichend klare Krystalle. Sie müssen eingekittet werden, da sie an der Luft die Politur verlieren.

Chromsaures Kali ist besonders leicht spaltbar nach der Richtung, nach welcher die Krystalle gewöhnlich die breiteste Fläche haben, und auf dieser Richtung steht die eine optische Axe nahezu senkrecht. Glückt es, dünne Tafeln von $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Linie Dicke rein nach dieser Richtung zu spalten, wenn sie auch nur einige Quadratlinien groß sind, so kann man sie daher unmittelbar verwenden. Glückt dieses nicht, so schneidet man die Platten mit dem Messer zurecht und schleift und polirt sie wie Salpeter. Auch für sie ist das Einkitten gut, wenn gleich weniger nöthig *).

169 Für die Beobachtung der Streifen in solchen Krystallplatten, welche mit der Axe parallel geschnitten sind, wendet man am besten die Weingeistflamme mit Kochsalz im dunkeln Zimmer an. Kalkspath-Platten der Art zeigen die Hyperbeln hiebei schon deutlich, wenn auch sehr fein, bei einer Dicke von einer Linie. Bergkrystallplatten bei viel größerer Dicke. Daumendicke Krystalle zeigen noch ziemlich starke Linien, wenn man zwei gegenüberliegende Flächen derselben eben schleift. Allein die Linien fallen leicht unregelmäßig aus, wegen Unregelmäßigkeiten in der Krystallisation des Bergkrystalls. Man sieht übrigens die Hyperbeln beim Gyps wie beim Bergkrystall, ohne künstliches Schleifen, doch bei letzterem nur, wenn die gegenüberliegenden Flächen rein sind. Am zweckmäßigsten schleift man indessen, der natürlichen Streifung wegen, ein Stück an zwei gegenüberliegenden Flächen an und, wie schon erwähnt, noch an einer dritten, die mit einer der beiden ersten dann als Prisma gebraucht werden kann. Am schönsten zeigen die Hyperbeln sehr dicke — 2 — 3 Linien dicke — Gypsplatten.

---

*) Das Spalten der Krystalle geschieht gewöhnlich so, daß man ein Messer oder einen Meißel von Federmesserschärfe und gerader Schneide möglichst genau in der Richtung des Blätterdurchgangs auf den Krystall setzt und dann mit einem kleinen eisernen Hammer einen kurzen scharfen Schlag auf den Rücken des Messers gibt. Als Unterlage muß man bei härteren Krystallen ebenfalls Stahl nehmen.

Kreispolarisation. Man bedarf hiezu, außer senkrecht zur Axe geschnittenen Bergkrystallplatten von 1—3 Millimeter und mehr Dicke und den einfarbigen schon früher erwähnten Gypsblättchen, noch sehr dünne Glimmerblättchen, welche ihre weiße Farbe bei der Drehung des Spiegels im Polarisationsapperate kaum merklich ändern. Will man Fresnel'sche Parallelepipeda haben, so muß man dieselben vom Optikus beziehen, sie sind aber für die Hauptsache nicht nothwendig. 170

Ob ein Bergkrystall rechts oder links drehend sei, erkennt man an secundären trapezförmigen Flächen, die sich da an den Kanten der Säule befinden, wo sie in die Pyramide übergeht. Diese Flächen sind, wenn man die Spitze nach oben kehrt, von oben nach unten und von links nach rechts gerichtet, wenn der Krystall rechts dreht, und umgekehrt. Die Spiralen, welche man sieht, wenn man eine rechts und eine links drehende Platte von gleicher Dicke zugleich durch die Turmalinzange oder die Nikol'schen Prismen betrachtet, lassen sich auf die schon beschriebene Weise (§. 167) sehr gut objectiv darstellen. Eine andere Art der Beobachtung, wo man nur eine Platte auf den horizontalen Spiegel des Polarisationsapparates legt und über derselben in der Entfernuug der Brennweite eine Linse anbringt, zeigt die Spiralen nicht schön und ist nur der Theorie wegen beachtenswerth. Die Versuche selbst sind keinerlei Schwierigkeiten unterworfen.

Kreispolarisation in Flüssigkeiten. Eine etwa einen halben Zoll weite Glasröhre, welche so lang ist, als es das Polarisations-Instrument erlaubt, wenn man oberhalb den Spiegel anwendet und unterhalb das Tischchen so weit herunterrückt als möglich, schleift man einerseits eben und kittet mittelst Siegellack eine rundgeschnittene und in das untere Tischchen des Polarisationsapparates passende Platte von Spiegelglas daran. Man kann freilich in diesem einfachen Apparate nur Flüssigkeiten anwenden, welche das Siegellack nicht angreifen; unter diesen sind besonders Gummilösung und Zuckerlösung zu empfehlen, wovon die erstere rechts, die letztere links dreht. Die Glasröhre selbst, sowie der hervorstehende Theil der Spiegelplatte werden mit Tusch geschwärzt und die Höhe der Flüssigkeitssäule in der Glasröhre durch ein dazu gehöriges graduirtes Stäbchen gemessen. 171

Wollte man einen Apparat, der für verschiedene Flüssigkeiten brauchbar ist, so müßte man die Glasröhre sorgfältiger eben schleifen und die Spiegelplatte bloß durch Druck dagegen halten. In dem Falle müßte die Glasröhre unterhalb eine messingene Fassung mit einem Gewinde erhalten, und ein darüber geschraubter, in der Mitte durchbohrter und auf das Tischchen des Polarisationsapparates passender Deckel müßte die über das Ge-

winde hervorstehende Glasplatte gegen die Röhre pressen. Fig. 248 zeigt eine solche Fassung.

172 **Polarisationserscheinungen in gehärtetem und gepreßtem Glase.** Als gehärtetes Glas kann man jedes Stückchen Glas gebrauchen, daß nicht in den Kühlofen kam, namentlich sind hiezu eben geschliffene und wieder polirte Stücke aus zerbrochenen Bologneser Fläschchen geeignet. Uebrigens nimmt man am besten ein Stückchen Spiegelglas von $\frac{1}{2}$—1 □Zoll Fläche, versieht es mit einer Drahtschlinge, erwärmt es über Kohlen, bis es gleichförmig aber schwach roth glüht, und läßt es in der Schlinge in freier Luft erkalten. Um die Erscheinungen in gepreßtem Glase zu zeigen, macht man aus dickem schwarzen Messing einen viereckigen Rahmen, wie Fig. 249 in natürlicher Größe zeigt. Ein mäßiges Anziehen der Schraube reicht hin, um einer hineingestellten Glasplatte polarisirende Eigenschaft zu geben. Alle diese Erscheinungen zeigen sich am besten, wenn man die Glasstücke auf den unteren horizontalen Spiegel des Nörremberg'schen Apparates bringt.

Fig. 248.

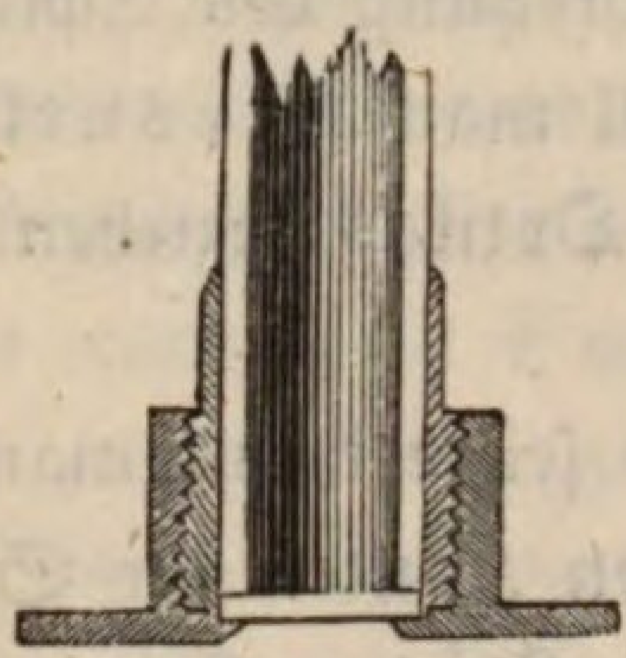
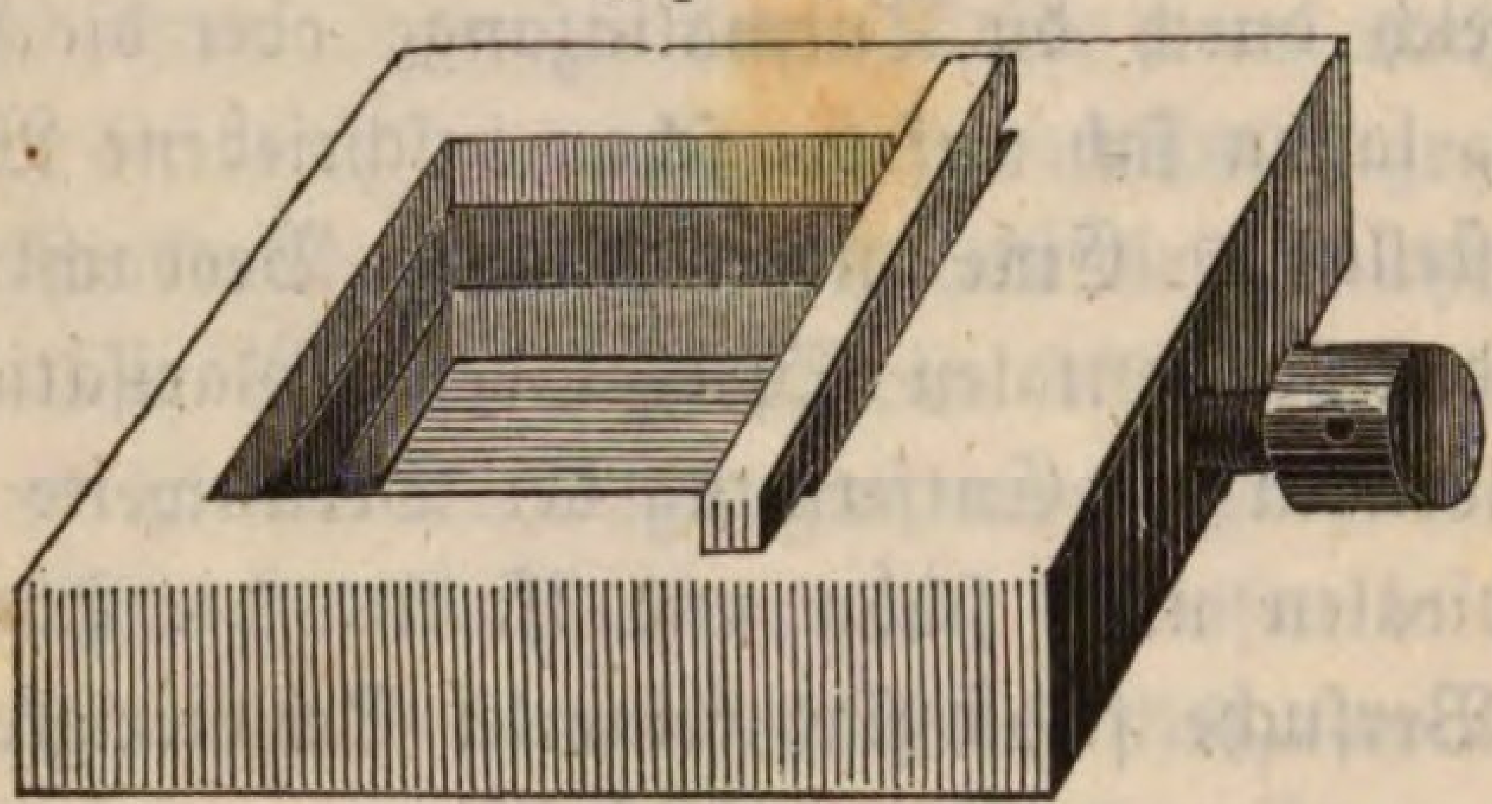


Fig. 249.



I. Versuche über die chemische Wirkung des Lichtes.

173 Man taucht in eine Lösung von salpetersaurem Silber — Höllensteinlösung — schmale Streifen Silberpapier, trocknet sie zwischen einer dicken Lage von Fließpapier und bewahrt sie nachher einzeln zwischen schwarzem Papiere an einem dunkeln Orte auf. Legt man ein einzelnes Streifchen an das Tageslicht, so bräunt es sich bald.

174 Die **Daguerreotypie.** Obwohl das Anfertigen Daguerre'scher Lichtbilder keineswegs ein für den Unterricht geeigneter Versuch ist, und derjenige, welcher sich mit diesem Zweige für sich befassen will, die sehr ausgedehnte Literatur darüber nachsehen muß, so mag hier dennoch eine gedrängte Darstellung eines Verfahrens am Platze sein, welches jetzt häufig angewendet wird. Die Beschreibung der einzelnen Theile des Apparats kann dabei füglich umgangen werden, da man wohl unzweifelhaft besser

thut, einen solchen ganz fertig zu kaufen, als die einzelnen Theile anfertigen zu lassen. Man kann wohl auch in dem Brennpunkte eines guten, größeren achromatischen Fernrohrs, Lichtbilder machen, allein die Bilder werden hier zu klein, als daß es zu mehr, als vorläufigen Versuchen dienen könnte.

a) Das Reinigen der Platten. Nachdem man mit einer Schlichtfeile die meist etwas rauhen Ecken ein wenig abgestoßen hat, bringt man die Platten auf den sogenannten Polirstock, der gewöhnlich auf den Tisch angeschraubt werden kann, gibt ein paar Tropfen wasserhelles Terpenthinöl darauf und beutelt durch Mousselin feines getrocknetes Trippelpulver darauf, was man jetzt, wie alle zum Daguerreotypiren erforderlichen Präparate, im Handel oder doch wenigstens bei Optikern bekommt. Man macht nun einen ziemlich festen Bausch aus roher, oder besser aus einmal gekarteter Baumwolle und schleift damit die Platte, indem man cycloidisch mit derselben herumreibt; von Zeit zu Zeit rauft man die beschmutzte Baumwolle aus dem Bausch, bringt neuen Trippel, aber kein neues Oel auf die Platte und fährt so unter gelindem Drucke fort, bis die Baumwolle nicht mehr merklich beschmutzt wird. Man beutelt nun Polirroth auf die Platte, nimmt frische Baumwolle und fährt mit derselben unter stärkerem Drucke geradlinig hin und her, und zwar in der Richtung, welche beim fertigen Bilde horizontal sein wird. Von Zeit zu Zeit streut man auch hier frisches Roth auf und behaucht die Platte, um zu sehen, ob sie hierbei noch Flecken zeigt; ist dieses nicht mehr der Fall, sondern bemerkt man ein durchaus gleichförmiges Grau, welches auch von allen Seiten her gleichförmig wieder weggeht, so ist die Platte zum Gebrauch fertig. Im Vorrathe kann man die Platten nicht präpariren, mindestens muß die Politur unmittelbar vor der Hauptoperation erfrischt werden. Ohne Polirmittel mit der Baumwolle zu reiben, schadet gewöhnlich, so wie auch der in der Hand gehaltene Theil der Baumwolle nicht auf die Platte gebracht werden darf. Die letzten Staubtheile entfernt man durch leichtes Abwischen mit einer frischen Baumwollflocke.

b) Das Jodiren. Die präparirte Platte kommt nun sogleich auf das Brettchen, auf welchem sie in das Rähmchen gesetzt wird, das zur Camera obscura gehört. Auf diesem Brettchen kommt sie in den Jodirkasten, auf dessen Boden der feste Jod gleichförmig ausgebreitet wird; diese Operation kann noch in mäßig hellem Zimmer vorgenommen werden, und man hebt die Platte von Zeit zu Zeit auf, um auf der vom Fenster abgewendeten Seite, indem man durch ein weißes Papier Licht auf die Platte wirft, zu erkennen, ob sie gleichförmig dunkel messinggelb mit einem Stich ins Violette wird. Sollte dieses nicht gleichförmig eintreten, so muß man durch Vertheilung des Jods und dadurch, daß man die Platte in

anderer Lage einsetzt, nachhelfen. Bei neuen Apparaten muß man Jod längere Zeit in den Jodirkasten lassen, damit die Wände davon durchdrungen werden, weil man sonst nie eine gleichförmige Wirkung erhält. Sehr zweckmäßig ist die Einrichtung, wo zwischen die Platte und das Jod ein mit starkem Papier oder mit dünnem Baumwollenzeug bespanntes Rähmchen, oder auch nur ein starkes Papier zwischen Platte und Jod kommt, was aber natürlich vorher recht von Jod durchdrungen sein muß, man erhält so die gleichförmigste Jodirung. Bei jeder neuen Operation kehrt man die früher dem Jod zugewandte Seite des Papiers gegen die Platte. Mehr als einen Stich ins Violette soll die Platte im Jodirkasten nicht erhalten.

Man gießt schon vor dem Jodiren Bromwasser, das etwa bis auf Weingelb verdünnt ist, in die dazu bestimmte Schale mit abgeschliffenen Rändern, so daß es etwa eine Linie hoch darin steht, und bedeckt es inzwischen durch eine matte Glasplatte; in diese Schale kommt nun das Brettchen mit der jodirten Silberplatte auf den hiefür bestimmten dazu passenden Absatz der Schale, nachdem vorher das Zimmer dunkel gemacht worden war. Sie bleibt je nach der Concentration des Bromwassers und der Empfindlichkeit, die man haben will, 20 — 30 Secunden darüber und wird noch im Dunkeln in das bereitgehaltene verschlossene Rähmchen der Camera obscura gebracht. In derselben Schale wird die Platte auch behandelt, wenn man nur mit flüssigem Bromjod oder Chlorjod jodirt; sie fehlt daher bei keinem Apparate.

c) Die Einwirkung des Lichts. Man richtet die Camera obscura auf den abzubildenden Gegenstand, so daß davon ein möglichst reines Bild auf der sehr fein mattgeschliffenen Glasplatte entsteht; das Bild kann bei leblosen Gegenständen selbst mit der Lupe geprüft werden; der Deckel des Objectivs wird aufgesetzt, das matte Glas entfernt, das Rähmchen mit der jodirten Platte eingesetzt, dessen Schieber geöffnet, und jetzt auch der Deckel des Objectivs rasch entfernt; er geht zu dem Ende leicht, und hat noch ein Futter von Tuch oder Sammt. Die Dauer der Einwirkung des Lichts richtet sich nach der Beleuchtung des Gegenstandes und der Empfindlichkeit der Jodbromschichte, und ist gerade dasjenige, was man nur durch viele Uebung zu beurtheilen lernt, und zugleich die Ursache, warum demjenigen, der nur dann und wann einmal daguerreotypiren will, bei allen Kenntnissen die Bilder nie so sicher gelingen, wie den umherreisenden sogenannten Künstlern. Für leblose Gegenstände ist es im Allgemeinen besser, die Empfindlichkeit nicht zu weit zu treiben, 20 — 30 Secunden sind auch für günstiges Licht schnell genug, und ein kleines Versehen wird dabei weniger schädlich.

d) Das Amalgamiren. Ist die erforderliche Zeit verflossen, so

deckt man das Objectiv, schließt den Schieber und bringt die Platte im dunkeln Zimmer in den Quecksilberkasten, in welchem man nun das Quecksilber durch eine Weingeistlampe bis auf 60° erhitzt und dann wartet, bis es wieder erkaltet ist. Man kann dabei bei Kerzenlicht durch die Fenster des Apparates das Bild entstehen sehen, und auch beurtheilen, ob es Zeit sei die Platte zu entfernen.

e) Die Platte wird nun herausgenommen und am Tageslichte in die Abwaschschale gebracht, in welcher sich eine Auflösung von $1/_{12}$ unterschweflichtsaurem Natron in destillirtem Wasser, das etwa $1/_{4}$ Weingeist enthält, befindet, darin untergetaucht und ein wenig hin und her bewegt. Das Jod ist rasch entfernt, und man kann die Flüssigkeit ziemlich oft gebrauchen, nur muß sie von Zeit zu Zeit filtrirt werden.

f) Das Vergolden. Die Platte kommt nun auf einen gut horizontal stehenden Rahmen und man gießt von einer Lösung von $1/_{800}$ bis $1/_{1000}$ trockenem Chlorgold in distillirtem Wasser so viel darauf, als darauf halten mag, und bringt diese Flüssigkeit durch eine oder mehrere Weingeistlampen rasch zum Sieden; fängt sie an abzutrocknen so spült man die Platte in distillirtem Wasser, indem man sie mit einem Zängchen faßt, und trocknet sie dann über der Weingeistlampe, wobei man sie schief hält, damit das letzte Wasser am Rande verdunstet, da doch manchmal ein Fleck zurückbleibt. Allerdings sind in dieser kurzen Anweisung die Hauptmomente nur angegeben, allein es wäre sowohl für den Zweck des gegenwärtigen Buches, als für den Umfang desselben unpassend, wollte ich mich in eine umständlichere Erörterung aller Einzelheiten einlassen, oder die verschiedenen chemischen Agentien oder die verschiedenen Formen derselben angeben, welche man bereits zur Beschleunigung der Operation anwendet, oder die das Gelingen derselben sichern sollen. Ebenso wird absichtlich der Gebrauch des kalotypen Papiers übergangen, da eine ausführliche Behandlung dieser ganzen Sache ein eigenes Buch erfordern würde.

Sechster Abschnitt.

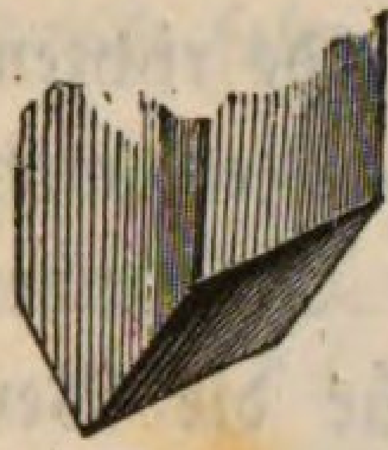
Versuche über den Magnetismus.

175 **Behandlung von Eisen und Stahl für magnetische Versuche.** Um das zu den magnetischen Versuchen erforderliche weiche Eisen zu erhalten, nimmt man gutes Schmiedeeisen, streckt es in die gewünschte Form und glüht die Stücke aus, nachdem man sie vorher mit Lehm umgeben hat. Am weichsten werden dieselben, wenn man sie im Kohlenfeuer bis zu dessen Erlöschen liegen läßt. Für künstliche Magnete nimmt man Sohlinger Klingenstahl oder am besten Gußstahl, den man ohnehin in beinahe jeder beliebigen Form bekommen kann, so daß er nur wenige Arbeit erfordert. Auch dieser wird auf die angegebene Art ausgeglüht, wobei er jedoch nicht mehr als rothwarm werden, und überhaupt nicht lange in der Glühhitze erhalten werden darf. Man gibt demselben die erforderliche Form und macht sie vollends mit der Schlichtfeile fertig. Bei dem Schmieden muß man besonders aufmerksam sein, da diese Stahlsorte nur geringe Hitze erträgt und nie über dunkel Kirschroth gebracht werden und doch auch nicht kalt gehämmert werden darf.

Bei dem Härten wird der Stahl senkrecht, und wenn er hufeisenförmig ist, mit beiden Polen schnell in das Wasser getaucht, es ist dieses nebst der Vermeidung von kaltem Hämmern das einzige Mittel, um das Verziehen möglichst zu verhüten. Gewöhnlich fällt dabei der Glühspahn ziemlich vollständig ab; allein es ist dies keine nothwendige Sache, der Stahl kann auch ohne dieses hart geworden sein, und man prüft daher seine Härte mit der Feile — auch die beste darf nicht angreifen.

Der Stahl ist nun glashart, er würde zerbrechen, wenn er auf den Boden fiele. Um dieses zu verhüten, läßt man denselben, nachdem er zuvor hell geschliffen wurde, über einem breiten, gut angeblasenen Kohlenfeuer langsam bis zur hafergelben Farbe anlaufen. Sollte das Feuer nicht gut genug brennen, so muß es durch Anfachen mit dem Federwisch oder einem Stücke Pappe zum bessern Brennen gebracht werden, aber nicht durch das Gebläse der Esse, weil hierdurch die Hitze ungleichförmig würde. Hat der Stahl die hafergelbe Farbe erlangt, so wird er zum zweitenmale in kaltem Wasser gelöscht. Ein Stück Stahl aber, das sich beim Härten so sehr verzogen hätte, daß man dasselbe nicht brauchen könnte, muß man blau anlaufen lassen; es verliert zwar hiebei an Coercitivkraft, bleibt aber doch zu vielen

Fig. 250.



Zwecken brauchbar, und man kann jetzt dasselbe mittelst eines Hammers mit scharfer Bahn, wie Fig. 250, durch kurze mäßige Streiche nach richten, worauf die Hammerstreiche weggeschliffen werden. Gewöhnlich bezeichnet man schon vor dem Härten diejenige Seite, welche Nordpol werden soll, durch einen Feilstrich oder ein aufgestempeltes N; allein es läßt sich dieses, wenn es vergessen worden wäre, auch nachher noch erreichen, wenn man den Buchstaben aufäzt. Man läßt zu diesem Zwecke auf der erwärmten Stelle etwas Wachs dünn verlaufen, zeichnet mit einer Nadel das gewünschte Zeichen hinein, und setzt einen Tropfen etwas verdünnte Salpetersäure darauf. Das Zeichen wird in etwa 5 Minuten tief genug geäzt sein. Nachdem die Säure abgespült ist, wird der Stahl wieder erwärmt und das Wachs mit Fließpapier abgewischt.

Form der Magnete. Was nun die Form der künstlichen Magnete 176
betrifft, so giebt man den Stäben gewöhnlich eine Dicke, welche nur $1/3$ bis $1/4$ der Breite beträgt und macht sie nicht über 1 Fuß lang. Die hufeisen- oder stimmgabelförmigen Magnete erhalten im Ganzen eine etwas größere Länge und es werden manchmal die geraden Schenkel allein bis ein Fuß lang gemacht; doch sind sie dann auch $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breit. Die Pole solcher Magnete, sie mögen nun mehr hufeisenförmig wie Fig. 251, oder mehr stimmgabelförmig wie Fig. 252 gearbeitet sein, sollten, wenn man nicht besondere Absichten dabei hat, nicht um Vieles mehr als die Breite der Schenkel von einander abstehen. Stark hufeisenförmige Magnete sind aber unbequem zu magnetisiren, und verziehen sich beim Härten gar leicht.

Fig. 251.

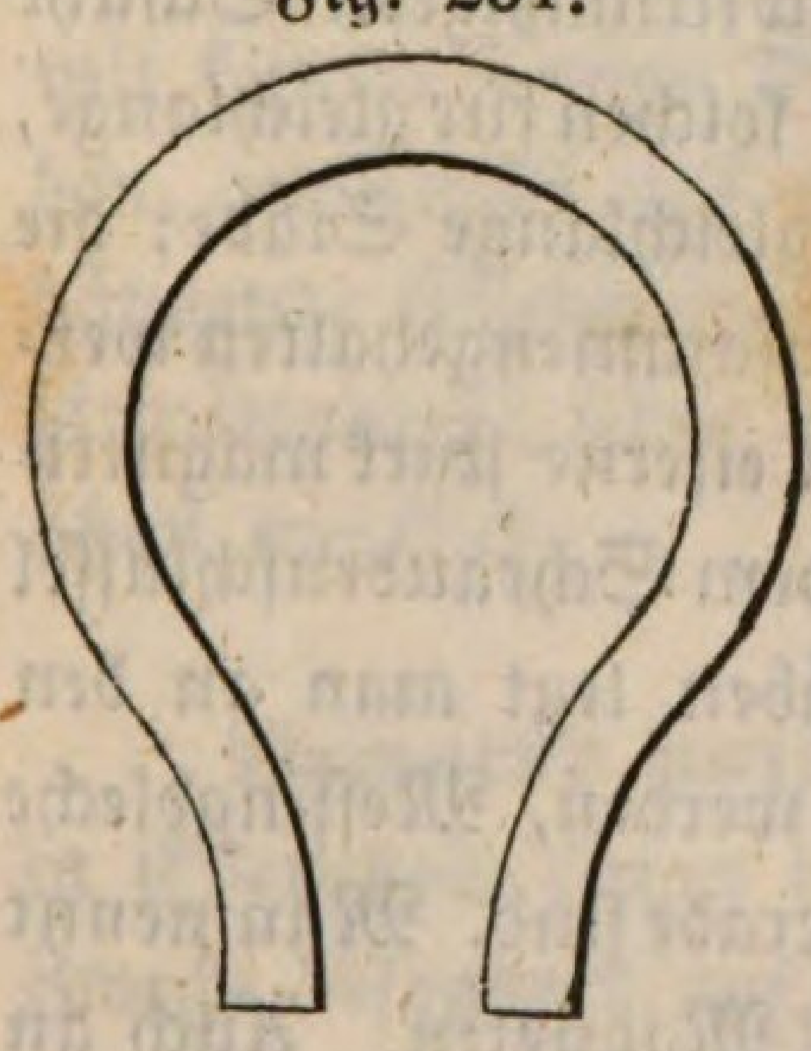
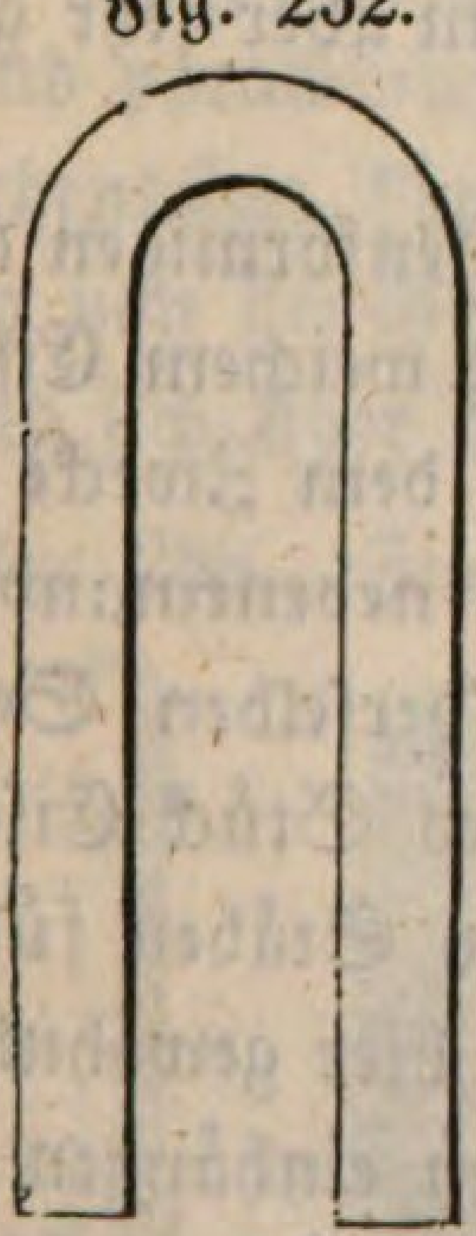


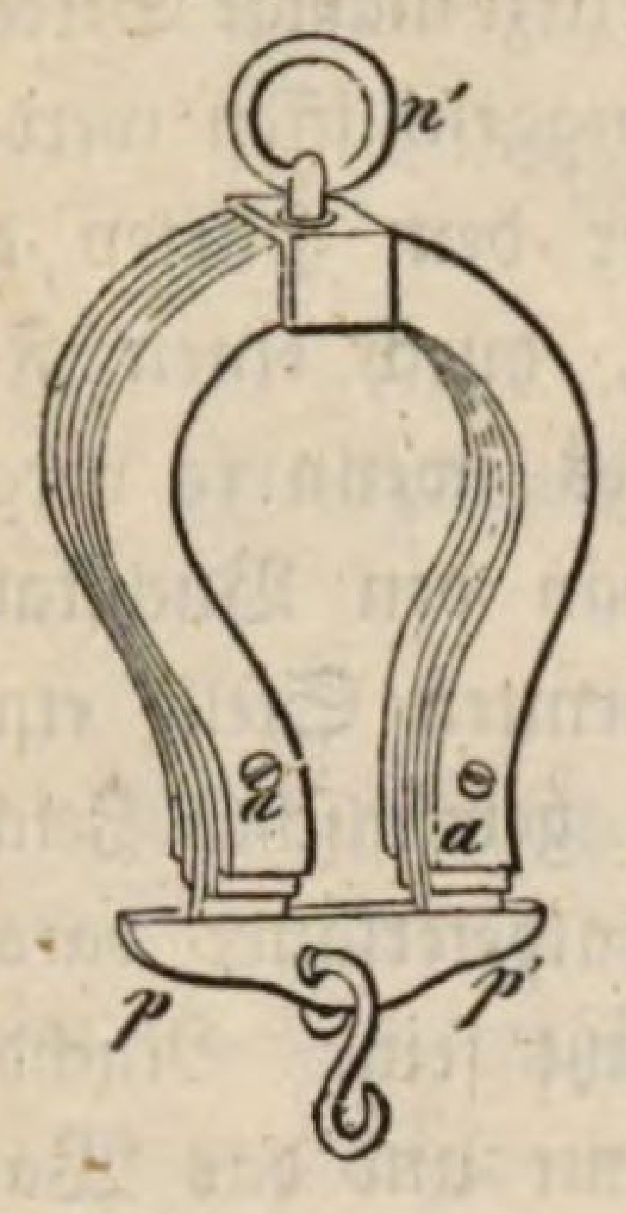
Fig. 252.



Größere Stahlstäbe läßt man am besten bei einem Feilenhauer härten, da diese darauf eingerichtet sind, längere Stücke recht gleichförmig zu erwärmen, worauf eben bei der Härtung der Magnete, so wie beim nachherigen Anlassen derselben vieles ankommt.

Magnetische Magazine. Wenn man stärkere 177
Magnete nöthig hat, so werden dieselben aus übereinander gelegten einzelnen Lamellen gebildet, wobei man sehr oft die mittleren etwas weniges länger macht, wie Fig. 253 (a.f.S.) für einen hufeisenförmigen Magneten zeigt. Jede Lamelle wird für sich magnetisirt, und sie werden entweder durch messingene Bänder oder Schrauben zusammengehalten. Manche legen dünne Messingbleche zwischen die einzelnen Lamellen was aber weder die Erhaltung nach die Wirkung erhöht. Sollten sich ein-

Fig. 253.



zelne beim Härten etwas verzogen haben, und man will oder kann sie nicht mehr ganz gerade richten, ohne sie zu weit zu erweichen, dann mag es wohl gut sein, an die Stelle der Bänder und Schrauben dünne Bleche zu legen, damit dadurch für die Verkrümmung Platz gewonnen wird und die Schrauben doch fest angezogen werden können.

Will man Stäbe zu solchen Magazinen vereinigen, so kann man sie entweder auch nur durch messingne Bänder vereinigen und etwa die mittleren auch hier etwas länger lassen, oder, was zweckmäßiger ist, ihre Enden durch vorgelegte Schuhe von weichem Eisen zusammenhalten. — Im ersten Falle bindet man einfach die Stäbe durch Messingdraht zusammen und treibt unter denselben an passender Stelle Keile aus Messingblech, wodurch man eine gehörige Festigkeit erlangt und die Stäbe dennoch leicht auseinander nehmen kann. — Will man aber die zweckmäßigern Schuhe anwenden, so zeigt Fig. 254 einen solchen für gleichlange, und Fig. 255 einen solchen für ungleichlange Stäbe; die Schrauben, wodurch die Stäbe zusammengehalten werden, macht man von Messing, weil eiserne stark magnetische Schrauben unangenehm mit dem Schraubenschlüssel zu behandeln sind. Auch bei Stäben legt man an den Stellen, wo sie zusammengehalten werden, Messingbleche dazwischen, wenn sie nicht ganz gerade sind. Man nennt solche Schuhe die Armatur des Magneten. Auch an hufeisenförmigen zusammengesetzten Magneten bringt man ähnliche Schuhe an, sie müssen dann aber sehr gut aufgepaßt werden.

Fig. 254.

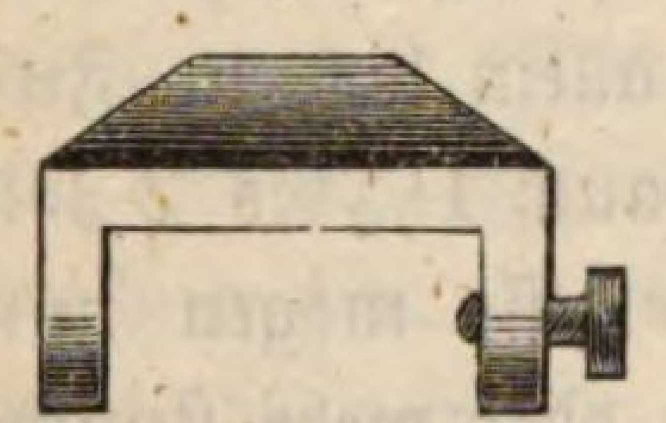
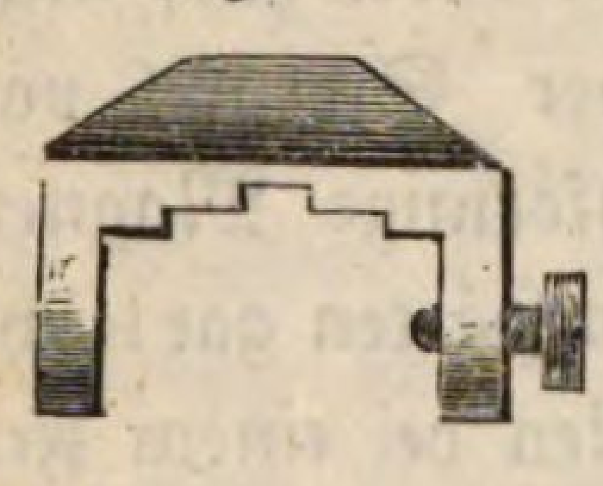
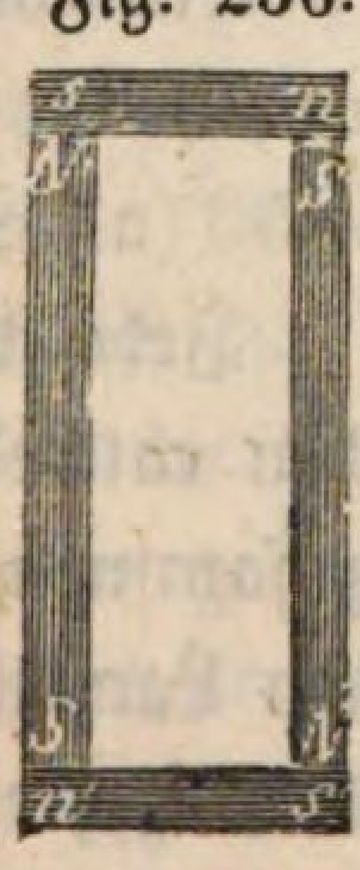


Fig. 255.



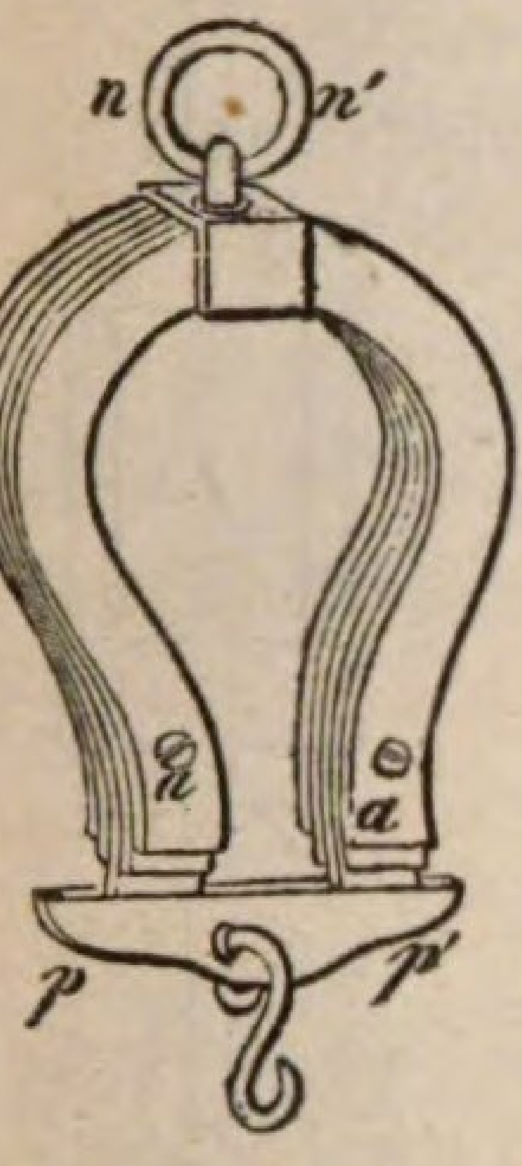
178 **Aufbewahrung der Magnete.** Sowohl bei hufeisenförmigen als geraden Stäben werden die Pole zur Aufbewahrung mit weichem Eisen verbunden. Bei geraden Stäben theilt man dieselben zu dem Zwecke in zwei gleiche Bündel, legt sie in einiger Entfernung parallel nebeneinander, so daß die ungleichnamigen Pole je auf derselben Seite liegen, und verbindet diese durch ein weiches Stück Eisen, wie Fig. 256 zeigt. Bei hufeisenförmigen Stäben führt dieses Stück den Namen Anker, und ist hier gewöhnlich in der Mitte durchbohrt, um einen Haken einhängen zu können, da der Magnet an einem solchen Stücke weichen Eisens viel mehr trägt als an den beiden einzelnen Polen zusammen. Fig. 257 zeigt einen solchen Magnet mit

Fig. 256.



seinem Anker. Letzterer erhält gewöhnlich da, wo er die Pole berührt, eine cylindrisch sehr schwach convexe Fläche, so daß er eigentlich die Pole nur in einer Linie berührt, doch aber denselben mit seiner ganzen Fläche unendlich nahe kommt. Der Anker muß verhältnißmäßig dick sein, so daß er selbst, angelegt, an seiner untern Seite nur eine sehr geringe Tragkraft besitzt. Es ist übrigens nicht nöthig, den Anker des Magnets stets mit Gewicht belastet zu haben, um den Magnet in gutem Zustande zu erhalten; es genügt, wenn der Anker vorgelegt ist. Rost macht zwar die Magnete an sich nicht schwächer, hindert aber die innige Berührung des Ankers, wodurch die Tragkraft kleiner wird. Besser ist es, schon des Aussehens wegen, sie vor Rost zu bewahren und sie nach dem Gebrauche mit einem fetten leinenen Lappen abzureiben.

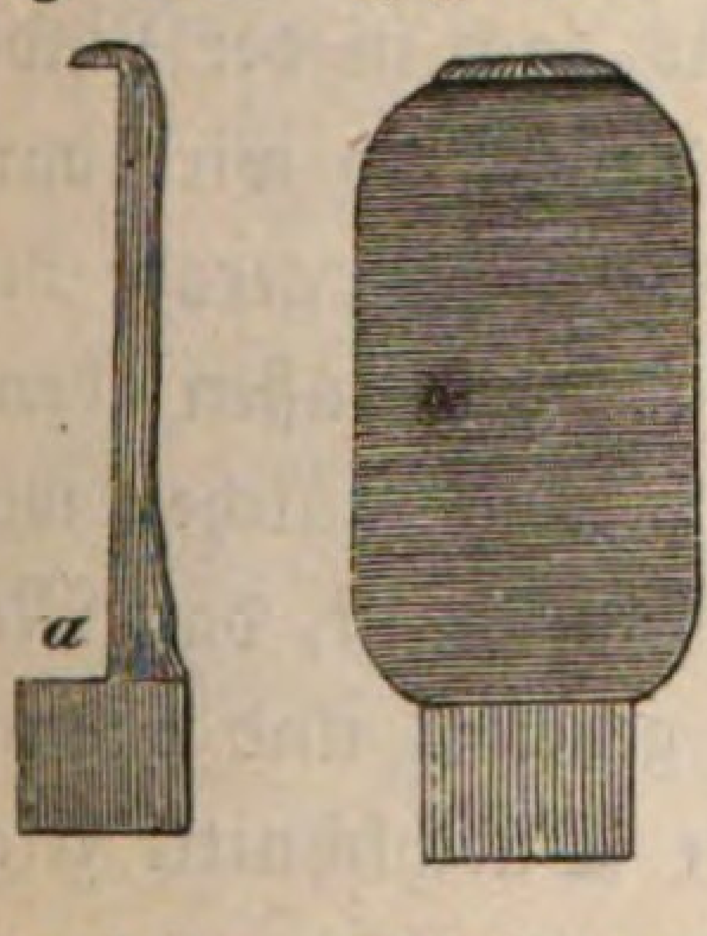
Fig. 257.



Um einen Magneten bei seiner Stärke zu erhalten, darf derselbe außerdem keinen Schlägen oder Erschütterungen ausgesetzt werden, er darf mit keinem harten Körper, am wenigsten mit Eisen, gestrichen oder gerieben, auch nicht auf Eisen gelegt werden. So wie Rost, hindert auch anhängende Eisenfeile die Tragkraft eines Magnets. Am schädlichsten wirkt Erwärmung; selbst wenn die Wärme nur 40° C. erreicht, wird ihr Einfluß schon merklich.

Armatur natürlicher Magnete. Natürliche Magnete legt man 179
in Eisentheile (man bewahrt überhaupt reine Eisenfeile für die magnetischen Zwecke besonders auf), um ihre Pole zu erkennen, und schleift an diese zwei parallele und zur Mittellinie senkrechte Flächen; auch die übrigen Flächen des Magnets werden einigermaßen zugeschliffen, um demselben eine annähernd parallelepipedische Gestalt zu geben, wobei man jedoch nur die hervorstehendsten Theile entfernt. Auf die Polflächen legt man zwei Eisenplatten von der Größe dieser Flächen, welche beide oben etwas umgebogen sind, und sich über den Magnet gleichsam anhaken, Fig. 258 und 259, unten aber in zwei stärkere Eisenzapfen auslaufen, deren untere Flächen in derselben Horizontalen liegen, wenn die Polflächen des Magnets vertikal sind. Die Fläche *a* hat den Magnet zu tragen und muß also unter denselben passen, wenn man ihn an den Platten aufhängen will. Beide Platten werden durch ein messingenes oder sonst ein nicht magnetisches Band an den Magneten befestigt und an die beiden Füße wird ein Anker gelegt. Soll der Magnet aufgehängt

Fig. 258. Fig. 259.



werden, so vereinigt man am besten beide Eisenplatten durch ein Querstück mit einem Ringe, wie Fig. 260 und 261.

Fig. 260.

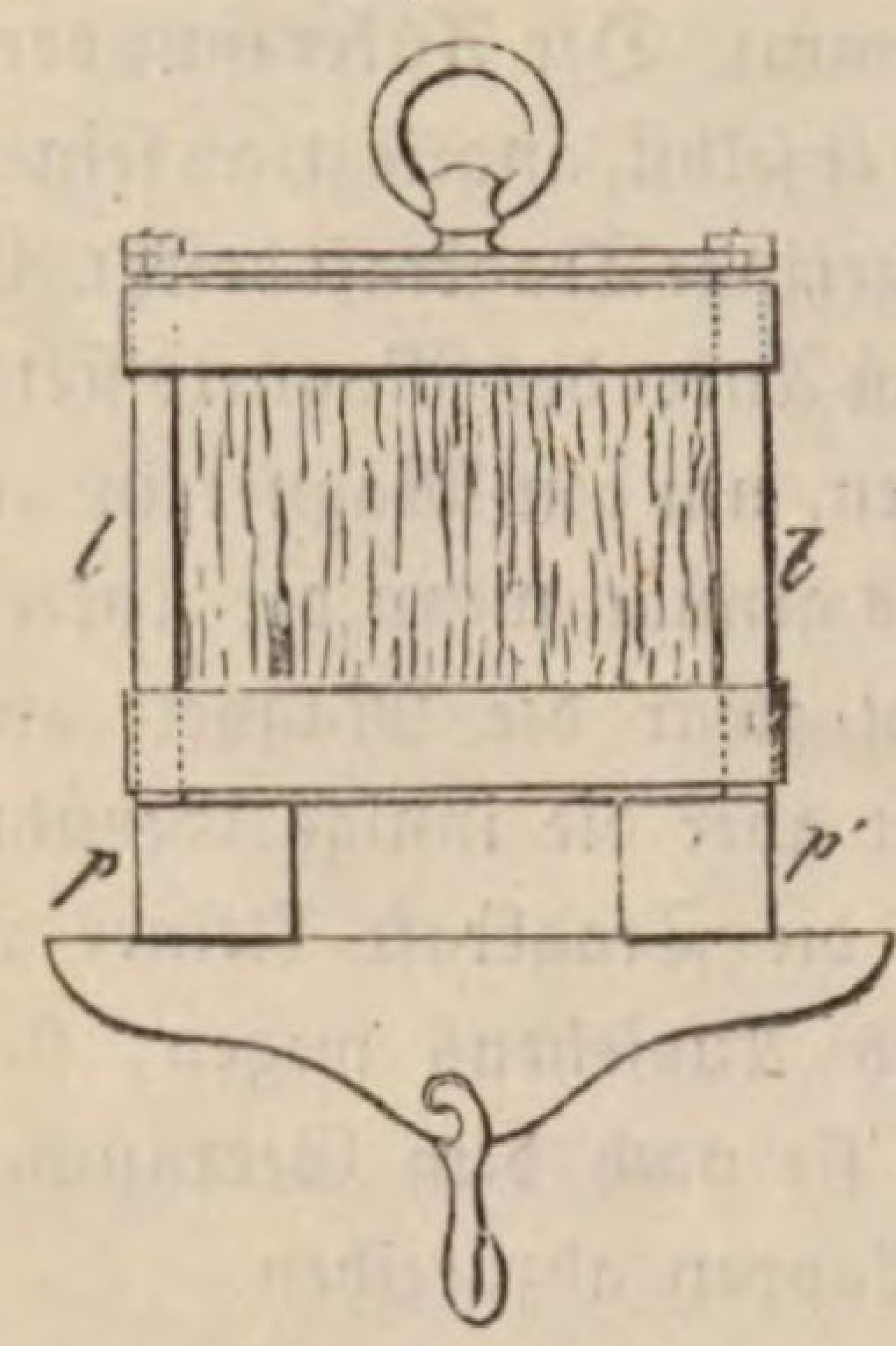
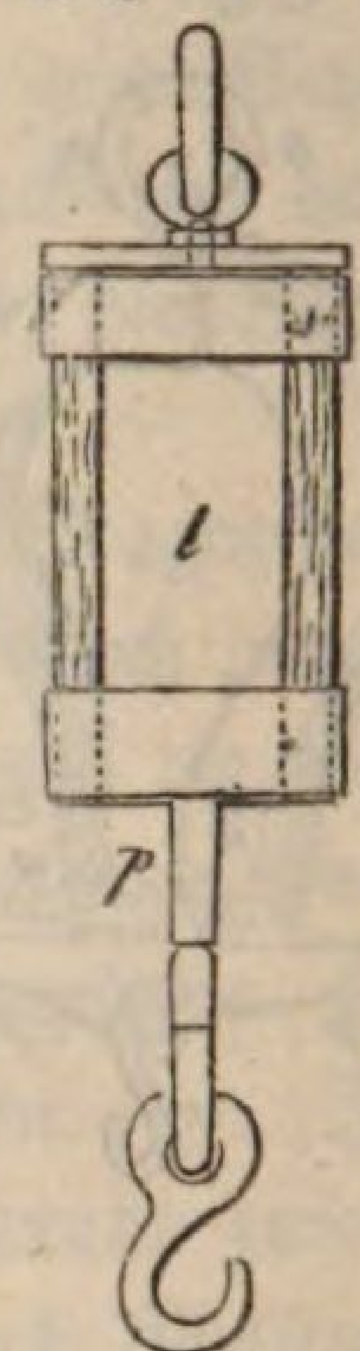


Fig. 261.



180 **Magnetnadeln.** Man bedarf derselben mehrere von verschiedener Länge, die jedoch nicht alle in gleichem Grade empfindlich zu sein brauchen. Ihre Anfertigung in guter Qualität wäre leicht, wenn die Aufhängung auf einer Spitze nicht Schwierigkeiten machte; will man sie an einen Coconfaden aufhängen und dann das Ganze mit einem Glassturze bedecken, so hat die Sache gar keinen Anstand; allein diese Form ist für die wenigsten Fälle brauchbar, wovon später. Das Aufhängen auf eine Spitze sollte stets mittelst eines in die Nadel befestigten Hütchens von Achat oder noch härterm Steine geschehen, wodurch diese Nadeln vertheuert werden. Solche Nadeln nun, welche große Empfindlichkeit haben sollen — und eine etwas lange der Art sollte man haben —, wird man am besten kaufen, oder doch wenigstens die Hütchen dazu, da man diese auch einzeln zu 24—36 Kr. per Stück zu kaufen bekommt, sich vom Mechaniker kommen lassen, denn gerade die Anfertigung dieser Hütchen erfordert besondere Uebung und Einrichtung.

Um ein solches gekauftes Hütchen einzusetzen, nimmt man ein Stückchen von dickem Messingdraht in ein Holzfutter auf die Drehbank, bohrt in denselben ein Loch, welches etwas enger ist, als das Loch in der Nadel, und tiefer, als die Nadel nebst dem Hütchen dick ist; dieses Loch wird dann etwa ein Millimeter tief so weit ausgedreht, daß das Hütchen gerade hineingedrückt werden kann, worauf man das Messing von Außen ebenso weit, als das Hütchen hineinreicht, laubdünn abdreht. Das Hütchen wird nun hineingesetzt, und, da es immer auch äußerlich konisch ist, das Messing mit dem Polirstahl auf der Drehbank daran gedrückt und dadurch beide Stücke vereinigt, wie Fig. 262 vergrößert im Durchschnitte zeigt.

Das Messing wird nun so dünn abgedreht, daß man die Nadel gerade noch daran stecken kann. Ist dieselbe wie Fig. 269 (a. f. S.), so braucht die Spitze der inneren konischen Aushöhlung nur wenig über die Nadel hervorzureichen; ist aber die Nadel aus Blech, wie Fig. 267, so muß man sie etwa 1—2 Millimeter hervorreichen lassen; in letzterem Falle ist es auch gut, der Fassung des Hütchens einen kleinen Ansatz zu geben, wie Fig. 263 vergrößert im Durchschnitte zeigt. Ist die Fassung von dem übrigen Messing abgestochen, so drückt man sie umgekehrt in ein Holzfutter und dreht die Oeffnung derselben etwas trichterförmig aus, wie Fig. 264 für eine prismatische Nadel zeigt. Sollte das Achathütchen zu breit sein, um auf diese Weise durch die Oeffnung der Nadel geschoben zu werden, so dreht man die Fassung, wie Fig. 265, steckt sie von oben in die Nadel und befestigt sie dadurch, daß man ihre untere Oeffnung durch eine konische stählerne Spitze auseinander reibt, was übrigens auch bei den andern geschehen kann. Gläserne Hütchen gewähren schon eine ziemliche Beweglichkeit. Man kann sich dazu passende Stückchen Glas mittelst einer kupfernen Zwinge aus einer etwas dicken Glasscheibe herausbohren und die konische Vertiefung mittelst einer dreikantigen stählernen Spitze und Terpenthinöl hinein schleifen. Die Höhlung wird nachher mit feinem Smirgel und Holz geschliffen und mit Englischroth und Holz auspolirt, was beides auf der Drehbank rasch geht. Man kann in solchem Falle auch das Glas ohne die Vertiefung fassen, dann die Fassung umgekehrt in ein Holzfutter stecken und jetzt erst mit einer in die Oeffnung des Messings passenden Stahlspitze und Terpenthinöl die konische Vertiefung hineinbohren.

Fig. 262.

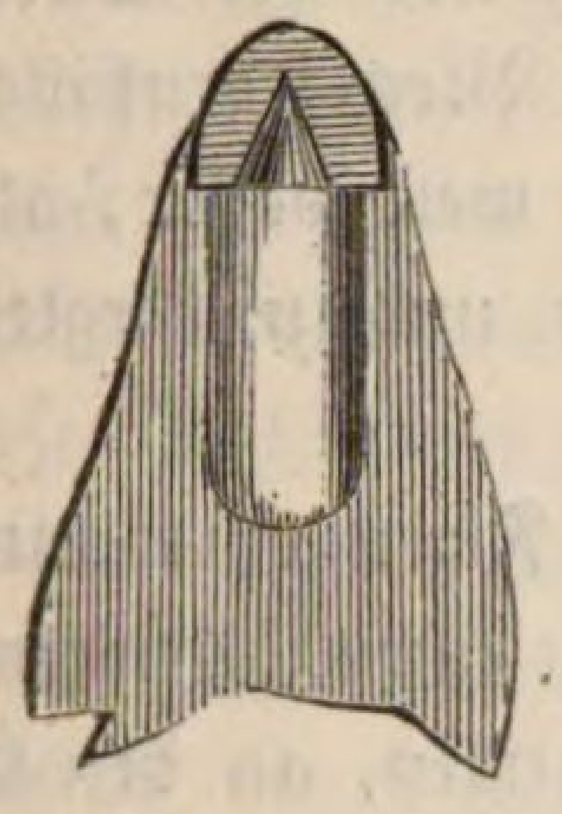


Fig. 263.



Fig. 264.

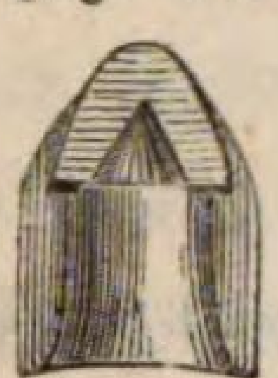


Fig. 265.

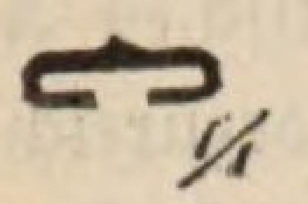


Für diejenigen Fälle, wo eine mäßige Empfindlichkeit genügt, und es sind bei weitem die meisten, kann man sich ganz einfach auf folgende Art helfen. Man biegt über die durchbohrte Mitte der Nadel einen etwa linienbreiten Messingstreifen, wie Fig. 266 (a. f. S.), und schlägt mit einer Kernspitze *),

*) Ein etwa 2—3 Linien dicker, 2—3 Zoll langer, unten gespitzter und gehärteter Stahlstab, wie ihn die Metallarbeiter zum Zeichnen der Punkte, wo Löcher gebohrt werden sollen, zum Einschlagen der konischen Vertiefungen an Stücken, welche zwischen zwei Spitzen abgedreht werden sollen, zum Zeichnen zusammen gehöriger Schrauben und Muttern u. s. w. gebrauchen — ein ohnehin ganz unentbehrliches Werkzeug. Die Spitze desselben läuft etwa unter einem Winkel von 60° zu.

die entweder schon längere Zeit gebraucht wurde, oder der man auf der

Fig. 266.



Drehbank mit einem feinen Steine die rauhe Schärfe benommen hat, eine kleine Vertiefung in der Mitte der Durchbohrung auf das Blech, so tief nur, daß das Blech jedenfalls nicht bersten kann. Es ist dieses Verfahren weit besser, als das Ausdrehen von messingenen oder stählernen Hütchen und unvergleichbar einfacher.

Die Magnetnadeln selber erhalten entweder die Figur einer lang gezogenen Raute oder eines langgestreckten Sechsecks mit einer mittleren Verstärkung, wie Fig. 267 und 268, oder eines vierkantigen, an den Enden

Fig. 267.

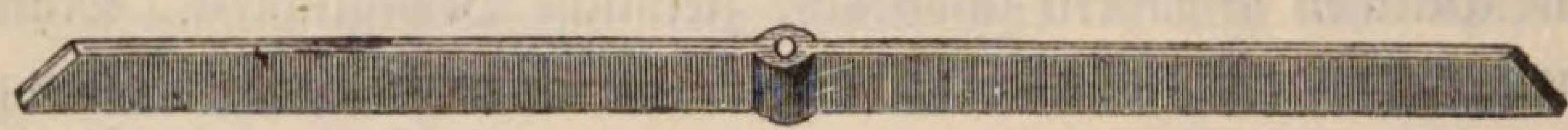


Fig. 268.



schief abgeschnittenen und zugeschärften Stäbchens, wie Fig. 269. Im ersteren Falle kann man sie aus Stücken von starken Uhrenfedern verferti-

Fig. 269.



gen, im letzteren Falle aus Gußstahl schmieden, wobei ebenfalls in der Mitte eine Verstärkung bleibt, welche durchbohrt wird und bestimmt ist, das Hütchen aufzunehmen. In jedem Falle werden sie vor dem Härten ganz rein gefeilt und geschliffen. Beim Härten solcher Nadeln legt man dieselben am besten auf ein Eisenblech oder bindet sie an einen Draht, um sie zu glühen, weil man sie beim Halten in einer Zange fast nie gleichförmig warm bringt, selbst wenn man auch letztere vorläufig erwärmt. Gewöhnlich läßt man dieselben blau anlaufen, was ebenfalls auf einem Bleche geschieht, und putzt dann das Blau auf der zum Südpol bestimmten Hälfte wieder weg. Daß man schon bei dem Bearbeiten der Nadel die zum Südpol bestimmte Hälfte etwas schwerer läßt, ist bekannt; doch dürfte es im Allgemeinen viel bequemer sein, nach dem Magnetisiren ein dünnes Messing-

Fig. 270.



blech, wie Fig. 270, um die Südhälfte der Nadel zu biegen und durch seine Verschiebung das Gleichgewicht herzustellen; es geht dieses selbst bei rautenförmigen Nadeln an, wenn gleich diese Form hiefür am wenigsten geeignet ist. Hiebei würde dann die Nadel ganz symmetrisch gearbeitet, und man kann ihre Pole nach Belieben umkehren.

Als Spitzen zum Aufhängen der Magnetnadeln dienen für die gewöhnlichen Fälle feinspitzige Nähnadeln. Man dreht hiezu ein etwas von unten her vertieft geschlagenes Messingplättchen, das auf ein Holzfutter gekittet ist, von der oberen Seite und, ohne den Kitt zu lösen, auch die Standfläche am Rande der unteren Seite ab und bohrt in der Mitte ein die Nadel knapp durchlassendes Loch; von dieser bricht man das Oehr ab, glüht sie an dieser Seite aus, treibt sie von unten durch das abgenommene Plättchen und vernietet sie etwas, während man sie zwischen Blei oder Kupferblech im Schraubstocke festhält.

Soll die Nadel sehr empfindlich werden, so muß man die Nadel eigends aus Stahl anfertigen Man feilt hiezu zuerst ein Stückchen Stahl zu und giebt ihm am stumpfen Ende einen Zapfen, der in das bereits gebohrte Loch einer Messingplatte paßt, welche zum Fuße bestimmt ist. Dieser Zapfen wird in den Fuß vernietet, obwohl es besser wäre, ihn mit einem Gewinde zu versehen und in die Platte einzuschrauben. Die Platte wird vorher von der unteren Seite etwas vertieft und dann mit der Nadel so auf ein Holzfutter gekittet, daß die Nadel rund läuft. Die Platte wird nun, wie im vorhergehenden Falle, abgedreht und die Spitze mit der Feile, zuletzt mit der Schlichtfeile fein gemacht, wobei man die mit Oel bestrichene Feile gegen die rasch umlaufende Spitze, wie beim gewöhnlichen Feilen, hin und herführt. Ist die Nadel fein gespitzt, so nimmt man sie mit dem Plättchen von der Drehbank, oder schraubt sie aus und härtet sie, wobei jedoch nur die Spitze glühend werden darf, wenn die Nadel vernietet ist. Sie wird nun wieder auf das Holzfutter gekittet, so daß die Nadel rund läuft*) und die Spitze jetzt unter Bestreichen mit einem feinen Wetzsteine vollendet. Sie muß auch unter der Loupe noch als Spitze erscheinen. Für die meisten Fälle brauchen solche Magnetnadelstativchen nicht hoch zu sein. Fig. 271 zeigt eines in natürlicher Größe.

Fig. 271.



Die Boussole. Um die Versuche über die Wir- 181
kung zweier Magnete aufeinander und über die Intensität des Erdmagnetismus nach Weber's Methode zu wiederholen, sowie für mancherlei andere Zwecke bei der Lehre des Magnetismus selbst, und bei der Lehre der Elektricität, hat man eine Boussole nöthig, d. h. eine leicht bewegliche Magnetnadel über einem getheilten Kreise in einem mit

*) Das Aufkitten geschieht so, daß man, wie immer, das Metall so weit erhitzt, bis der Kitt (Siegellack oder Schellack mit etwas Wachs) darauf schmilzt, worauf man es an das schon vorher mit Kitt bestrichene Holz andrückt. Das Rundlaufen giebt sich von selbst, wenn man, während der Kitt noch zähe ist, mit einem Stück Holz gegen das schon abgerundete und umlaufende Drehstück drückt.

Glas gedeckten Kästchen. Für die Weber'schen Versuche, sowie für die Anwendung der Tangentenboussole in der Elektricitätslehre ist es nothwendig, daß die Magnetnadel nicht zu groß sei, jedenfalls zwei Zoll nicht überschreite, besser aber nur 1—$1\frac{1}{2}$ Zoll betrage. Bei so kleinem Durchmesser kann dann der Limbus nur noch von 2 zu 2 Graden getheilt werden, wodurch auch bei der besten Theilung die Fehler sehr groß werden. In diesen Fällen dürfte es daher vorzuziehen sein, parallel mit der Axe der Magnetnadel an jede Seite derselben einen dünnen Faden aus schwarzem Glase mit Wachs auf dieselbe zu befestigen, wofür besonders die in Fig. 269 abgebildete Form der Nadel geeignet ist, wenn man auf ihrem Rücken in jede Hälfte eine Rinne einfeilt, wie Fig. 272 im Durchschnitt und vergrößert zeigt. In diese Rinne legt man dann die Glasfäden. Man kann

Fig. 272.



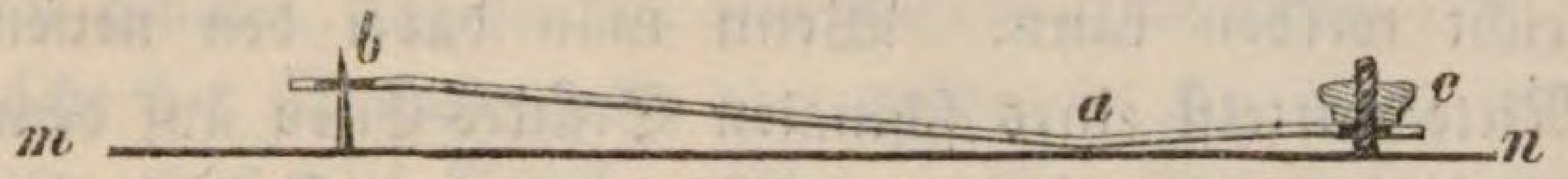
nun dem getheilten Kreise 4 Zoll Durchmesser geben, und sogar beim Selbsttheilen größere Genauigkeit erlangen, als wenn ein kleiner Kreis auf der Maschine getheilt wäre. Theilt man den Kreis selbst auf Papier, so leimt man zuerst das Papier auf ein etwa 4—6 Linien dickes Brettchen, und zeichnet und theilt den Kreis. Die Spitze, auf der sich die Nadel bewegt, darf nur wenig über das Brettchen hervorragen, obwohl auch so noch beim Ablesen ein starker parallactischer Fehler entstehen kann. Am besten wirkt man diesem entgegen, wenn man die innere Kreisfläche ausschneidet und mit einem Spiegel ausfüllt, wo dann stets in der Stellung abgelesen wird, wenn der Glasfaden und sein Bild einander decken; daß in diesem Falle der Spiegel im Centrum für die Spitze durchbohrt sein müsse, versteht sich von selbst*). Ein niedriger Ring aus Pappe, auf welchen mittelst eines schmalen Papierstreifens ein rundes reines Spiegelglas geklebt wird, dient im einfachsten Falle zugleich als Decke und Gehäuse. Wenn das Instrument nicht gebraucht wird, hebt man die Nadel von der Spitze. Wenn die Seiten des Brettchens ein Rechteck bilden, und man hat die Mittellinie der Theilung mit einer Seite parallel gemacht, so ist eine solche Boussole auch ziemlich bequem zur Bestimmung der Deklination, oder umgekehrt zur Bestimmung des geographischen Meridians, wenn es sich nicht um größere Genauigkeit handelt.

Soll die Spitze einer Boussole gut bleiben, so muß die Nadel jedes Mal abgehoben werden, wenn sie nicht gebraucht wird; gewöhnlich bringt man hiefür eine Vorrichtung an, welche das Wegnehmen des Glasdeckels nicht erfordert. Eine solche zeigt Fig. 273; sie besteht aus einem bei *a* gebogenen, etwa 2 Millimeter breiten Messingfederchen *b a c*, welches beiderseits in ein durchbohrtes rundes Blättchen endigt. Bei *a* kommt es in

*) Wie dieses geschehen muß, ist bei einer andern Gelegenheit gezeigt.

einen kleinen Ausschnitt der Fassung zu liegen; wird die Schraube bei *c* angezogen, so drückt das Blättchen *b* die Nadel gegen die Glasdecke der

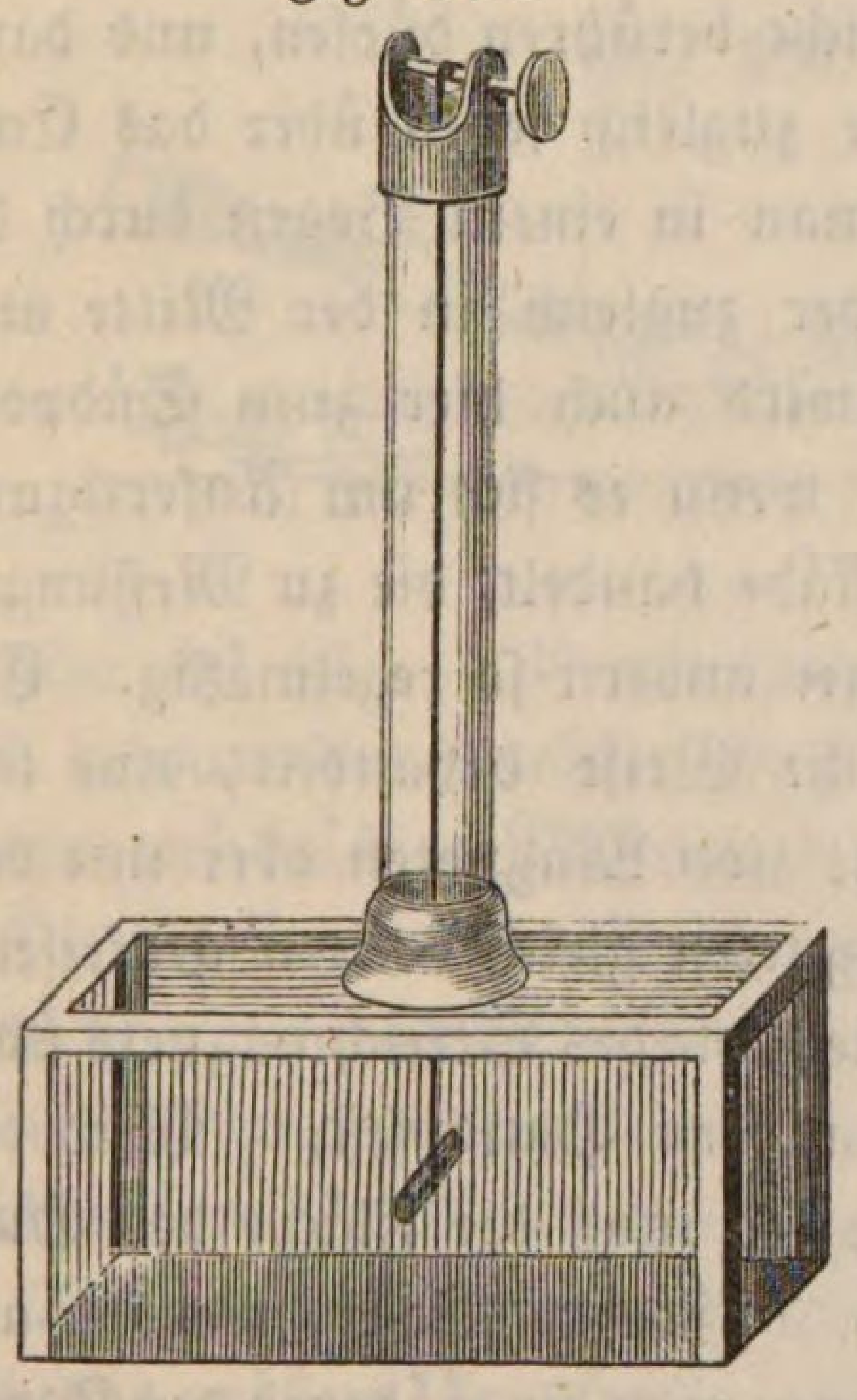
Fig. 273.



Boussole; öffnet man die Schraube *c*, so sinkt *b* durch sein eigenes Gewicht auf den Boden *mn* der Boussole.

Anstatt die Nadel auf eine Spitze zu hängen, könnte man dieselbe für manche Zwecke, wie schon erwähnt, auch an einem einfachen Coconfaden in einem Glasgehäuse, wie Fig. 274, aufhängen. Die Nadel wird hiedurch sehr leicht beweglich, allein für jene Fälle, wo ein zweiter Magnet auf die Nadel wirkt, kann diese Einrichtung deswegen nicht gebraucht werden, weil die Nadel durch die Einwirkung des zweiten Magneten den Mittelpunkt der Theilung verläßt.

Fig. 274.

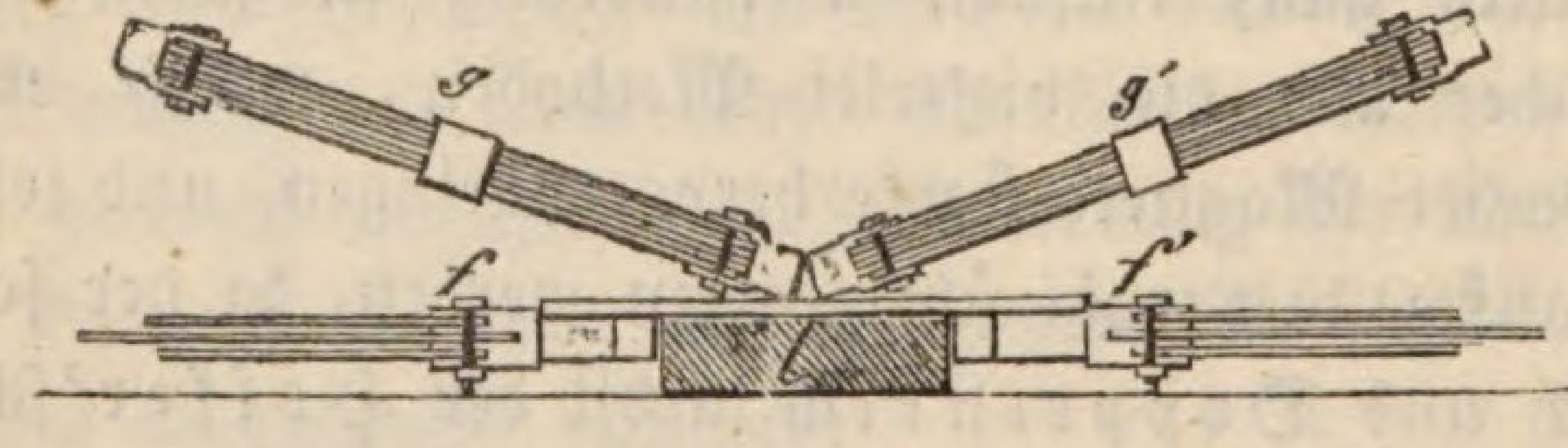


Das Magnetisiren. Es handelt sich heut zu Tage nicht mehr, oder doch nur noch sehr selten um große Stahlmagnete; braucht man große Magnete, so haben wir in den Elektromagneten Apparate, die so zu sagen jede wünschbare magnetische Stärke besitzen. Braucht man ja einmal, wie etwa zu Magnetelektrisirmaschinen größere Stahlmagnete, so sind es wieder unsere Elektromagnete, welche uns die Mittel an die Hand geben, auch die größten Stahllamellen durch ganz einfache Behandlung magnetisch zu machen. Es können daher alle die vielerlei Methoden, welche man erdachte, um mittelst schwacher Magnete starke hervorzubringen, und solche sogar als Geheimnisse verkaufte, hier wohl übergangen werden, da der sogenannte e i n f a c h e S t r i c h und D o p p e l s t r i c h nebst der H o f f e r'schen Methode bei kräftigen Streichmagneten alles leisten, was man verlangen kann. 182

Der einfache Strich. Die allereinfachste Methode, diesen auszuführen, besteht darin, daß man die zum Nordpole bestimmte Hälfte eines Magnets auf jeder Seite etwa 10 Mal mit dem Südpole eines Magnets streicht, wobei man jedes Mal bei der Mitte ansetzt, mit mäßiger Geschwindigkeit über das Ende hinausfährt und in einem Bogen durch die Luft nach der Mitte zurückkehrt. Ebenso wird mit der zum Südpole bestimm- 183

ten Hälfte verfahren, indem man den Nordpol des Streichmagnets anwendet. 10 bis höchstens 20 Striche sind ausreichend, um dem neuen Magnete alle Kraft zu geben, welche durch den Streichmagnet und dieses Verfahren erreicht werden kann. Wenn man dabei den neuen Magneten in seiner Mitte mittelst eines schmalen Stückes Eisen auf dem Tische fest hält, so soll dieses wesentlich dazu beitragen, den Indifferenzpunkt sicher in die Mitte des neuen Magnets zu bringen. Kräftiger wird der Magnet, und sein Magnetismus gleichförmiger vertheilt, wenn man die entgegengesetzten Pole zweier wenigstens nahezu gleich starker Magnetstäbe oder Bündel so auf die Mitte des neuen Stabes setzt, daß jeder mit der auf seiner Seite befindlichen Hälfte desselben einen Winkel von etwa 80° macht, wobei indessen diese beiden Magnete sich nicht berühren dürfen, und dann mit gleicher Geschwindigkeit beide Magnete zugleich jeden über das Ende seiner Seite hinausführt; auch hier kehrt man in einem Bogen durch die Luft zurück und setzt beide Magnete wieder zugleich in der Mitte auf. Das mit dem Nordpol gestrichene Ende wird auch hier zum Südpole. Diese Methode ist besonders zu empfehlen, wenn es sich um Anfertigung von Magnetnadeln oder um solche Magnetstäbe handelt, die zu Messungen gebraucht werden sollen; sie werden bei keiner andern so regelmäßig. Ein hufeisenförmiges Stück wird auf die gleiche Weise behandelt, nur legt man demselben den Anker vor, wenn es mit zwei Magneten oder mit den beiden Schenkeln eines mit dem neuen Magneten gleich breiten Hufeisens zugleich gestrichen wird; man führt dabei die Pole des Streichmagnets über den Anker hinaus, und hält diesen mit der andern Hand fest. Wird ein gerader Stab mit einem Hufeisen gestrichen, so muß die Fläche des Hufeisens senkrecht zum Stabe gehalten werden. Gerade Stäbe werden am kräftigsten nach dieser Methode behandelt, wenn man sie während des Streichens mit ihrem Ende auf die gegenüberstehenden ungleichnamigen Pole $f f'$, Fig. 275, zweier kräftiger Magnete legt; es ist dabei nöthig, daß man unter den zu streichenden Stab ein Stück Holz l lege, welches denselben unterstützt und auf welches man ihn durch ein anderes schmales Stückchen Holz befestigt. 10 bis 20 Striche auf beide Seiten eines neuen Magnets sind auch hier genügend, um alles zu leisten, was man mit den gegebenen Streichmagneten erreichen kann.

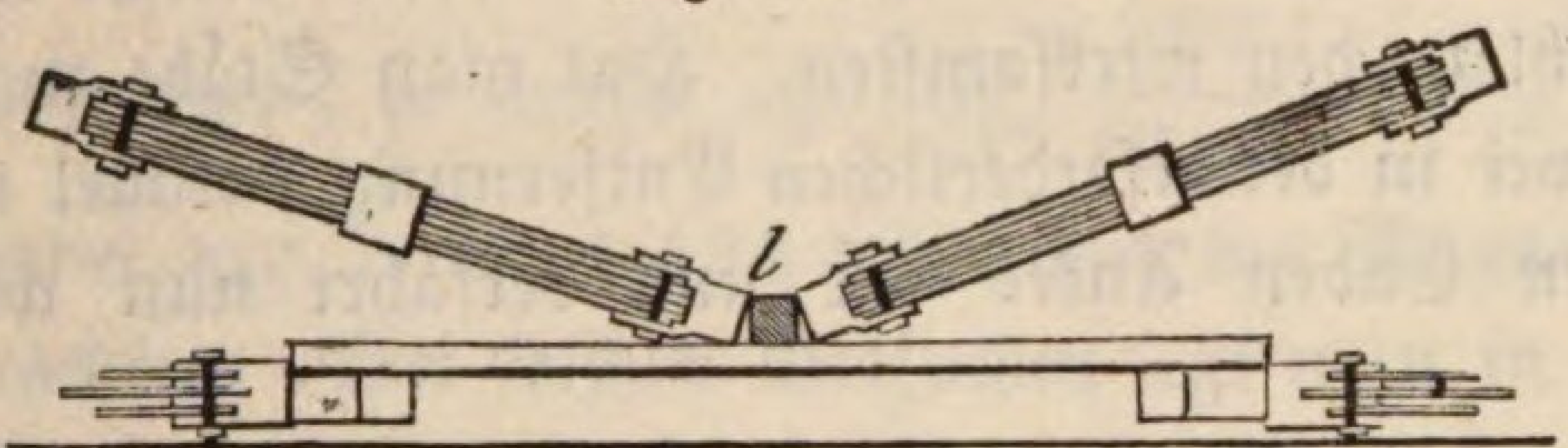
Fig. 275.



184 **Der Doppelstrich.** Bei dieser Methode setzt man die beiden Pole eines Hufeisenmagnets, oder besser die entgegengesetzten Pole zweier starker

Magnetstäbe oder Bündel zugleich in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, und fährt mit beiden zugleich nach dem einen Ende des Stabes dann zurück, über die Mitte weg, nach dem anderen Ende, aber nie über das Ende hinaus, und so von einem Ende zum andern 10—20 Mal auf jeder Fläche des Stabes; man hört wieder in der Mitte auf, so aber, daß jede Hälfte gleich viel Striche erhielt. Ein Hufeisenmagnet ist nur dann für diese Methode brauchbar, wenn seine Pole einander ziemlich nahe stehen, andernfalls erzeugt er fast unvermeidlich Folgepunkte, und um so eher, je stärker er selbst ist; bei der Anwendung von zwei Bündeln oder zwei Hufeisenmagneten aber kann man die Pole einander beliebig nähern, doch dürfen sie sich nicht berühren und man legt deswegen ein kleines Stückchen Holz *l*, Fig. 276, zwischen dieselben, welches man mit dem Magneten hin- und herführt.

Fig. 276.



Die Streichmagnete erhalten hier einen Winkel von 15—20° mit dem zu magnetisirenden Stabe. Der Erfolg wird bedeutend vermehrt, wenn man den zu streichenden Stab mit seinen Enden auf kräftige Magnete legt, wie im vorhergehenden Falle; auch hier müssen die streichenden Pole mit denjenigen der Unterlage, denen sie beim Streichen am nächsten kommen, gleichnamig sein, der neue Magnet aber erhält den entgegengesetzten Pol von jenem, auf welche er gelegt war. Bei hufeisenförmigen Magneten legt man auch hier, während des Magnetisirens, den Anker vor, sie erhalten dadurch eine selbst nach dem Abreißen desselben bleibende größere Tragkraft. Vor dem Abreißen des Ankers ist sie allerdings noch größer, allein das ist eine ganz unnütze Kraft, denn dazu hat man doch wohl keine Magnete, um sie, mit einem Gewicht beschwert, irgendwo aufzuhängen; nur die auch nach wiederholtem Abreißen noch übrig bleibende Kraft eines Magneten ist von Werth.

Die **Hoffer'sche Methode** des Doppelstrichs besteht darin, daß 185
man einem Hufeisen einen Anker vorlegt und dann die beiden Pole des Streichmagnets, der nun freilich gleiche Breite mit dem neuen Magnete haben muß*), entweder auf die Enden auffetzt, Fig. 277, (a. f. S.) und damit zugleich bis über den Bogen hinausstreicht, oder an dem Bogen auffetzt und gegen die Enden streicht, Fig. 278 (a. f. S.). Im ersten Falle sind die Pole des

---

*) Wenn dieses nicht ist, so kann man durch Ansetzen gut passender kurzer Eisenstücke die erforderliche Breite erzielen. Das Ansetzen geschieht durch feste Anstreifen oder wie bei der Armatur der Stäbe in §. 177 gezeigt wurde.

neuen Magneten gleichnamig mit jenen des Streichmagnets, im zweiten erhalten sie den entgegengesetzten Magnetismus. Bei dieser Methode er-

Fig. 277.

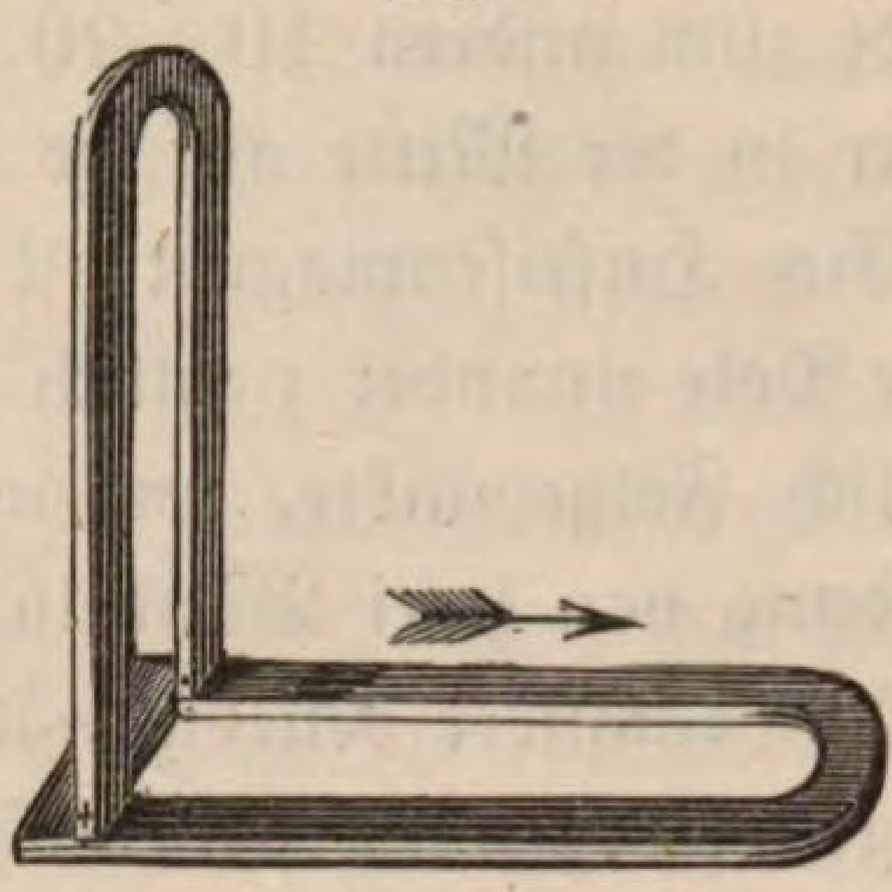
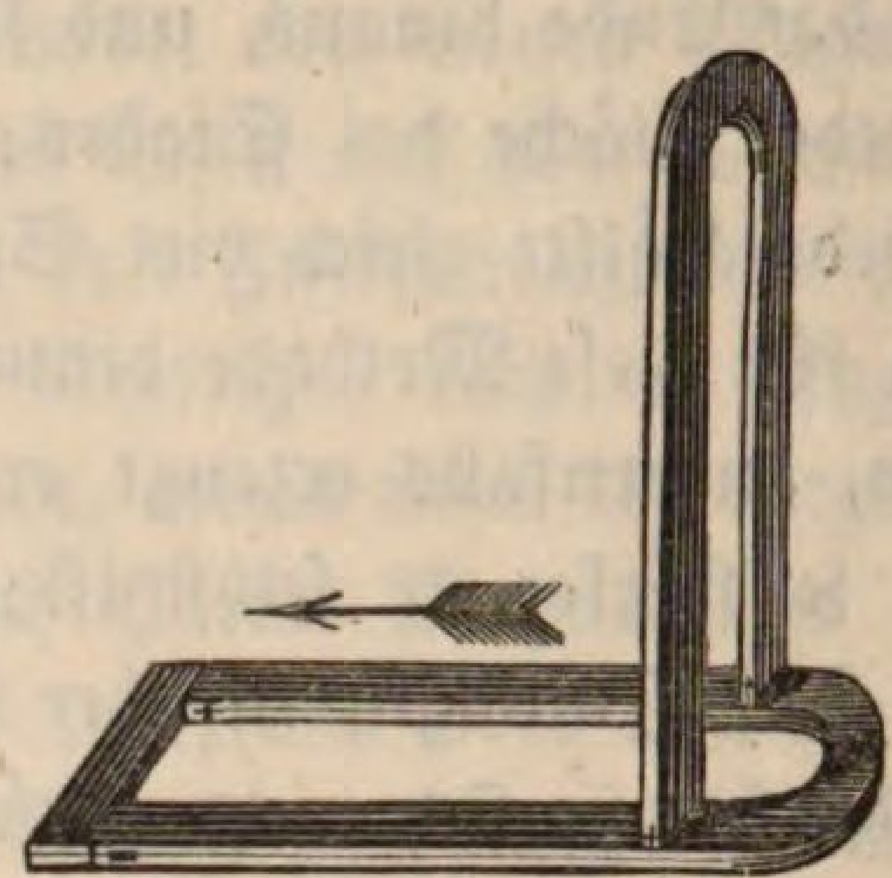


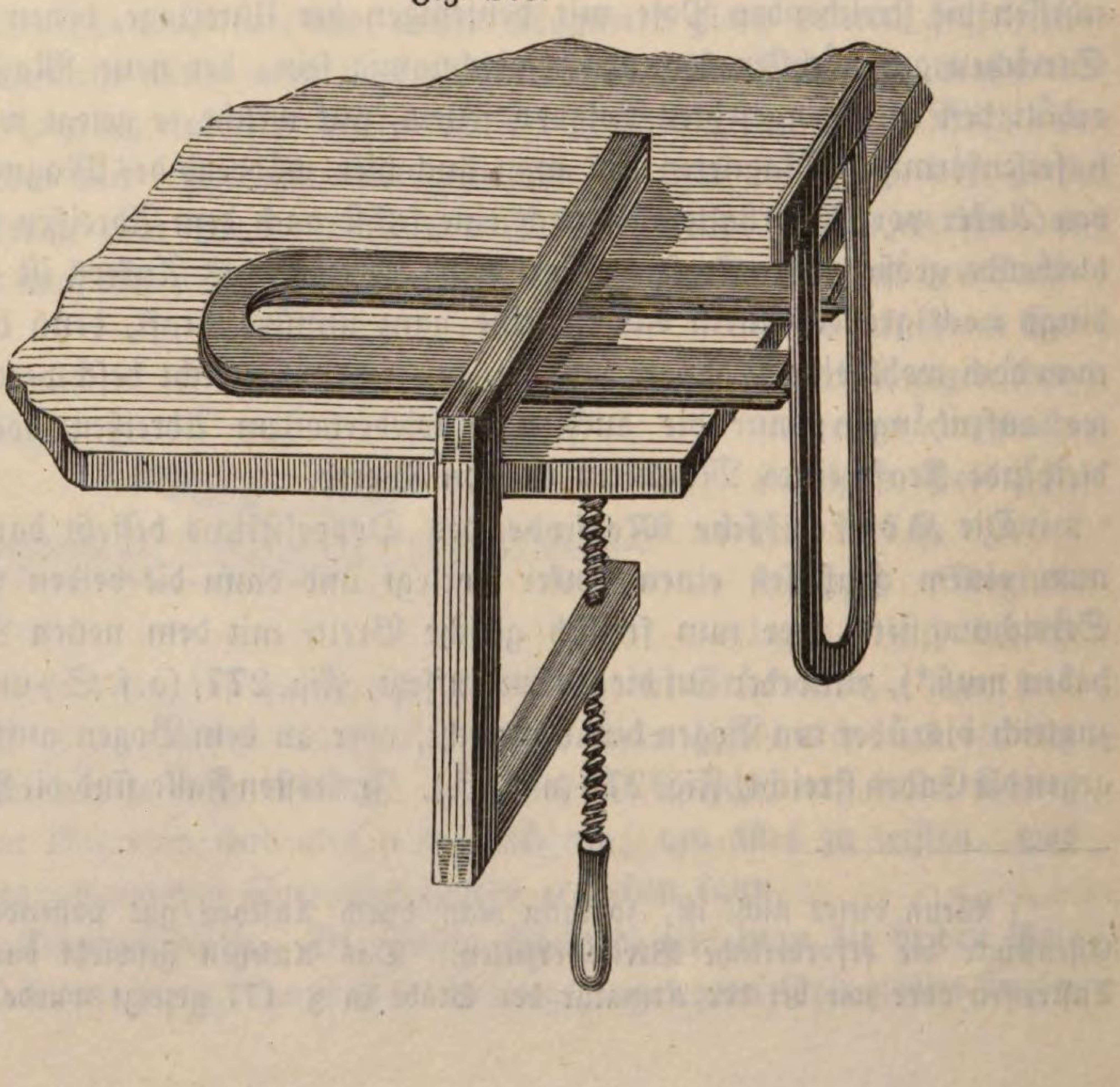
Fig. 278.



reicht man schon nach 10 Strichen Alles, was durch sie erreicht werden kann, und sie gehört wohl zu den wirksamsten. Hat man Stäbe zu magnetisiren, so legt man zwei in der erforderlichen Entfernung parallel nebeneinander, legt an beiden Enden Anker vor und verfährt nun wie bei den Hufeisen.

Ist der Streichmagnet schwer, so wird das Streichen mühsam und es ist daher besser, denselben mittelst einer hölzernen Schraubzwinge so auf einen Tisch zu befestigen, daß seine Pole über denselben hervorragen, Fig. 279, um nun die zu streichenden Lamellen zu bewegen. Bei Elek-

Fig. 279.



tromagneten ist dieses ohnehin schon der Conductoren wegen nöthig, wenn sie nicht etwa in einem besondern Gestelle befestigt sind.

Größere Magnete haben immer eine im Verhältniß zu ihrem Gewichte geringere Tragkraft. Wenn n dieses Verhältniß, das Gewicht als Einheit genommen, und p das Gewicht des Magnets bezeichnet, so ist, nach Häcker, $n = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{p}}$, wobei log. α eine constante von der Stahlsorte und anderen Umständen abhängende Größe ist, welche zwischen 1,4 und 1,6 wechselt, wenn bairisches Gewicht gebraucht wird; für Gramme wird log. $\alpha = 1{,}814 — 2{,}014$, wonach man also die Güte eines Magneten ziemlich sicher beurtheilen kann. Wiegt z. B. ein Magnet 124,3 und hat eine nach wiederholtem Abreißen des Ankers bleibende Tragkraft von 662 Grammen, so müßte also log. $\frac{662}{124{,}3} + \frac{1}{3}$ log. $124{,}3 =$ log. α sein, wobei log. $\alpha = 1{,}424$ wird, und der Magnet ist also nicht als gut zu betrachten. Bei solchen Versuchen legt man in eine am Anker befindliche Wagschale rasch nach einander kleine gleiche Gewichte, etwa grobe Schrotkörner; sollte der Anker etwa ungleich losreißen wollen, so verrückt man den Aufhängepunkt der Wagschale am Haken des Ankers ein wenig, um ein möglichst gleiches Losreißen zu erhalten; daß die Berührungsfläche des Ankers horizontal stehen müsse, versteht sich wohl von selbst. Für genaue Messungen ist jedoch dieses Verfahren nicht genügend. 186

Vertheilung des Magnetismus. Für die hierher gehörigen Versuche und die Wirkung der Magnete in Entfernung und durch andere Körper hindurch, braucht man nebst reiner und etwas feiner Eisenfeile eine Anzahl Stäbchen aus weichem Eisen von etwa der Dicke einer Linie, bis zu der einer Stecknadel und von $\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll Länge. Man macht dieselben aus gutem Eisendrahte, feilt ihre Enden schwach convex, glüht sie gut aus und schleift die Enden nachher auf einem Schleifsteine wieder rein. 187

a) Feilspäncurven. Man legt einen 8—10 Zoll langen Magnetstab unter eine Glastafel, welche denselben überall um einige Zolle überragt, oder unter ein Papier, welches auf ein Rähmchen gespannt ist. Beutelt man nun durch Flor Feilspäne auf der Platte umher und erschüttert dieselbe wiederholt und leise mit dem Finger so lagern sich die Eisentheilchen in die bekannten Curven.

Auf gleiche Art kann man auch die Lage der Pole in einem mit Folgepunkten versehenen Magnetstabe sehr gut sichtbar machen. Stäbe mit Folgepunkten verschafft man sich am sichersten, wenn man sie durch einen recht kräftigen Hufeisenmagnet — Elektromagnet — mittelst des Doppelstrichs magnetisirt.

b) Hängt man zwei 1—2 Zoll lange Stückchen aus dünnem Drahte an Seidenfäden neben einander auf und nähert ihnen einen Magnet, so stoßen sie sich der ganzen Länge nach ab.

c) Taucht man die gleichnamigen Pole zweier Magnetstäbe in Eisenfeile und nähert dieselben einander, so weichen die hervorstehenden Feilspänstrahlen gleichsam vor einander zurück, nimmt man aber hierzu die ungleichnamigen Pole, so greifen diese Strahlen gegeneinander, wie die Arme eines Polypen gegen seine Beute.

d) Hängt man an den einen Pol eines Magnets ein weiches Eisenstäbchen, so ist dieses im Stande ein zweites kleineres und dieses ein drittes zu tragen u. s. w., je nach der Stärke des Magnets, schiebt man aber das oberste Stäbchen vom Magnete weg, so fallen bald auch die andern auseinander. Macht man denselben Versuch an den beiden Polen eines Hufeisenmagnets, so kann man auch die Enden der beiden untersten noch getragenen Stäbchen unter sich in Berührung bringen und man erhält so eine durch die Wirkung beider Pole getragene Kette.

188 Setzt man Eisen im glühenden Zustande der Vertheilung aus, und löscht dasselbe sodann, so bleibt es magnetisch. Am einfachsten geht dieses mit Eisenfeile und einem hufeisenförmigen Magneten. Feilspäne hängen sich leicht in einer dicken Masse zwischen beide Pole; man kann diese Masse wie Teig behandeln und soviel davon nehmen, daß der Rest ein etwa noch fingerbreites und halb so dickes Band bildet. Dieses Band nun glüht man mit einer Weingeistlampe, allenfalls unter Anwendung des Löthrohrs, und löscht es sofort ab. Der mittlere Theil der Feilspäne hält nun aneinander, kann als ein einziges Stück weggenommen werden und hat die Eigenschaften eines Magnets. Am besten eignet sich zu diesem Versuche ein kräftiger Elektromagnet, insbesondere auch deswegen, weil man sich bei ihm vor zufälliger Erhitzung der Pole nicht zu hüten braucht, wenn nur die Seide des umwickelten Drahtes nicht Feuer fängt.

189 **Deklination der Magnetnadel.** Um von der Richtung der Magnetnadel eine deutliche Vorstellung zu geben, ist es sehr zweckmäßig, in dem Lehrzimmer mittelst aufgehängter Pendel die Mittagsebene zu bezeichnen. Man befestigt zu dem Ende an der Decke etwa drei unverrückbare Eisen, an welchen die Pendel aufgehängt werden, und an welchen ein scharfer Einschnitt die Stelle, über welche der Faden hängen muß, bezeichnet; als Pendel dienen dabei Bleikugeln an seidenen Fäden. Bringt man nun auf ein rechtwinklicht gerichtetes Brettchen eine leichtbewegliche etwas lange Magnetnadel an, und theilt den ihr entsprechenden Kreis von Hand in ganze Grade, so daß der durch 0 gehende Durchmesser mit der Seite des Rechtecks parallel geht, so ist es sehr leicht, diesen Durchmesser in die Ebene des astronomischen Meridians zu bringen und

die Abweichnung nach Graden annähernd zu bestimmen. Durch welche Mittel aber eine Mittagslinie am einfachsten bestimmt werden kann, hängt von der Lage des Zimmers ab, in welchem sie angebracht werden soll, und es können daher hier nicht wohl die verschiedenen Fälle durchgegangen werden. Ist das Zimmer im Erdgeschosse, so stellt man im Freien einen Meßtisch so auf, daß die ungefähre Richtung der Mittagslinie durch diesen und eine Fensteröffnung geht, man bestimmt dann auf der Meßtischplatte zur Zeit des Solstitiums mittelst des Gnomons oder eines durchgebohrten Bleches durch correspondirende Sonnenhöhen eine Mittagslinie, legt an diese das Lineal des Meßtischaufsatzes, und läßt die Faden im Innern des Zimmers so hängen, daß sie alle mit dem senkrechten Faden im Fernrohr correspondiren; daß man hierzu hellfarbige Seidenfäden nehmen muß, wird man leicht einsehen.

Neigung der Magnetnadel. Zur Erläuterung der Lehre von der Inklination kann man folgenden Versuch vorausschicken, der auch noch in anderer Beziehung instructiv ist. 190

Fig. 280.



Man legt einen Magnetstab von etwa ein Fuß Länge horizontal und bindet ein magnetisch gemachtes etwa zolllanges Stückchen einer Stricknadel an einen feinen Faden. Führt man nun die kleine Nadel über dem großen Stabe hin und her, so richtet sie sich bei jeder Lage des großen Magnets nach den Polen von diesem und steht über seiner Mitte wagrecht, während sich gegen die Enden hin immer der freundschaftliche Pol senkt. Besser zeigt sich der Versuch, wenn man durch einen ganz dünnen Korkstöpsel eine magnetische Stricknadel steckt und senkrecht zu dieser eine nicht magnetische, welche letztere dann in einer Gabel von Draht, wie in Fig. 280, gelegt und an einem ungedrehten Seidenfaden — einfache Seide des Handels — aufgehängt wird. Man schiebt die als Axe dienende Nadel dicht über der andern durch den Kork und verschiebt letztere so lange bis sie horizontal steht.

So wenig, als bei der Deklination kann bei der Inklination, von genauer Bestimmung dieses Verhältnisses hier die Rede sein. Auch in diesem Falle handelt es sich beim Unterrichte nur um Darlegung des Factums und ungefähre Messung. Hiezu reicht eine 5—6 Zoll lange Magnetnadel aus, durch deren Mitte eine beiderseits auf der Drehbank gespitzte und zwischen den Spitzen mit Schraubengängen versehene Axe geht, Fig. 281 (a. f. S.).

Die Axe hat etwas Spielraum in der Nadel, und diese wird durch zwei Schraubenmuttern *a*, *b*, welche auf einer gleichen Axe wie die zugespitzte abgedreht wurden, auf die Axe befestigt. Um die Axe möglichst genau in den Schwerpunkt der Nadel zu bringen, verrückt man die Nadel mittelst schwacher Schläge eines Stückchen Holzes zwischen den schon ein wenig angezogenen Schraubenmuttern und versucht auf ihrem Gestelle, ob man das Gleichgewicht für jede Lage nahezu richtig erreicht hat. Diese Nadel

Fig. 283.



Fig. 282.

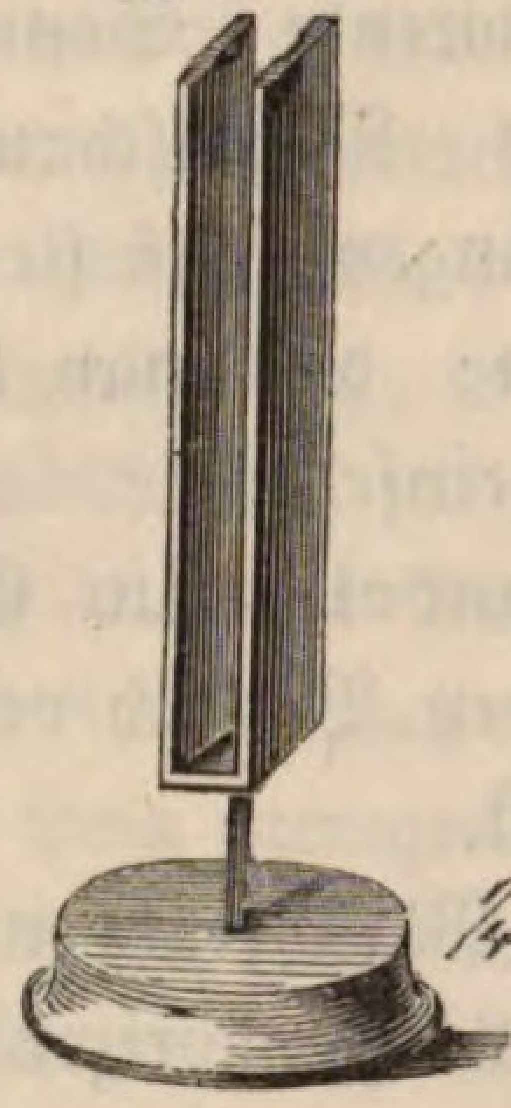
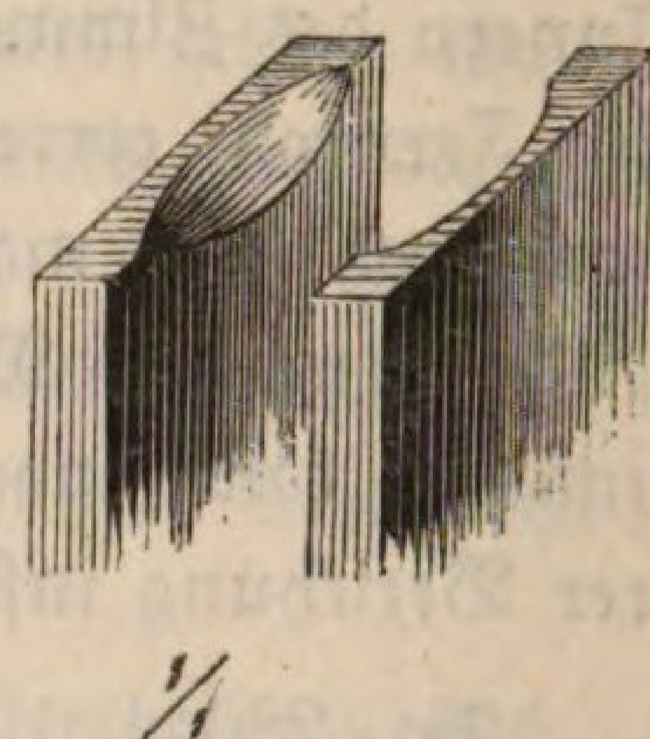
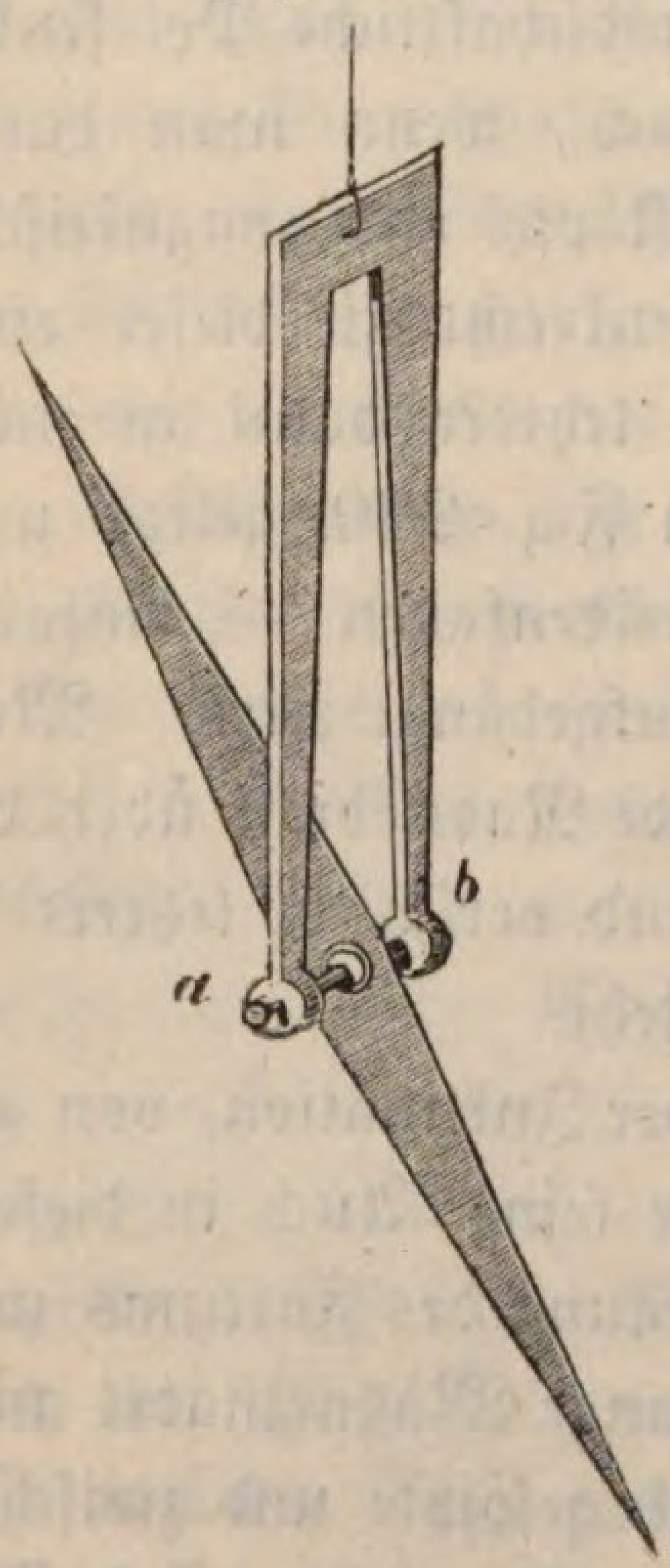


Fig. 281.



nun wir dauf ein Gestelle wie Fig. 282, gelegt, wo auf einem Brettchen eine messingene Gabel befestigt ist, deren oberes Ende Fig. 283 in natürlicher Größe zeigt. Es ist nämlich die innere obere Kante einer jeden Seite der Gabel cylindrisch so ausgefeilt und mit Smirgel ausgeschliffen, daß die stählerne Axe der Magnetnadel gerade nur mit ihrer Spitze auf diese Flächen gelegt werden kann, indem dieselben einen größeren Winkel mit der Horizontalen machen, als die Seitenlinie der kegelförmig zugespitzten Axe. Bei dieser Vorrichtung muß man die Drehungsebene der Axe in die Ebene des magnetischen Meridians bringen. Da man jedoch, wenn die Nadel einmal magnetisch gemacht ist, nicht mehr zeigen kann, daß sie vorher im Gleichgewichte war, so bleibt nichts Anderes übrig, als die Pole der Nadel umzukehren und so zu zeigen, daß stets der Nordpol sich zur Erde neigt.

Fig. 284.



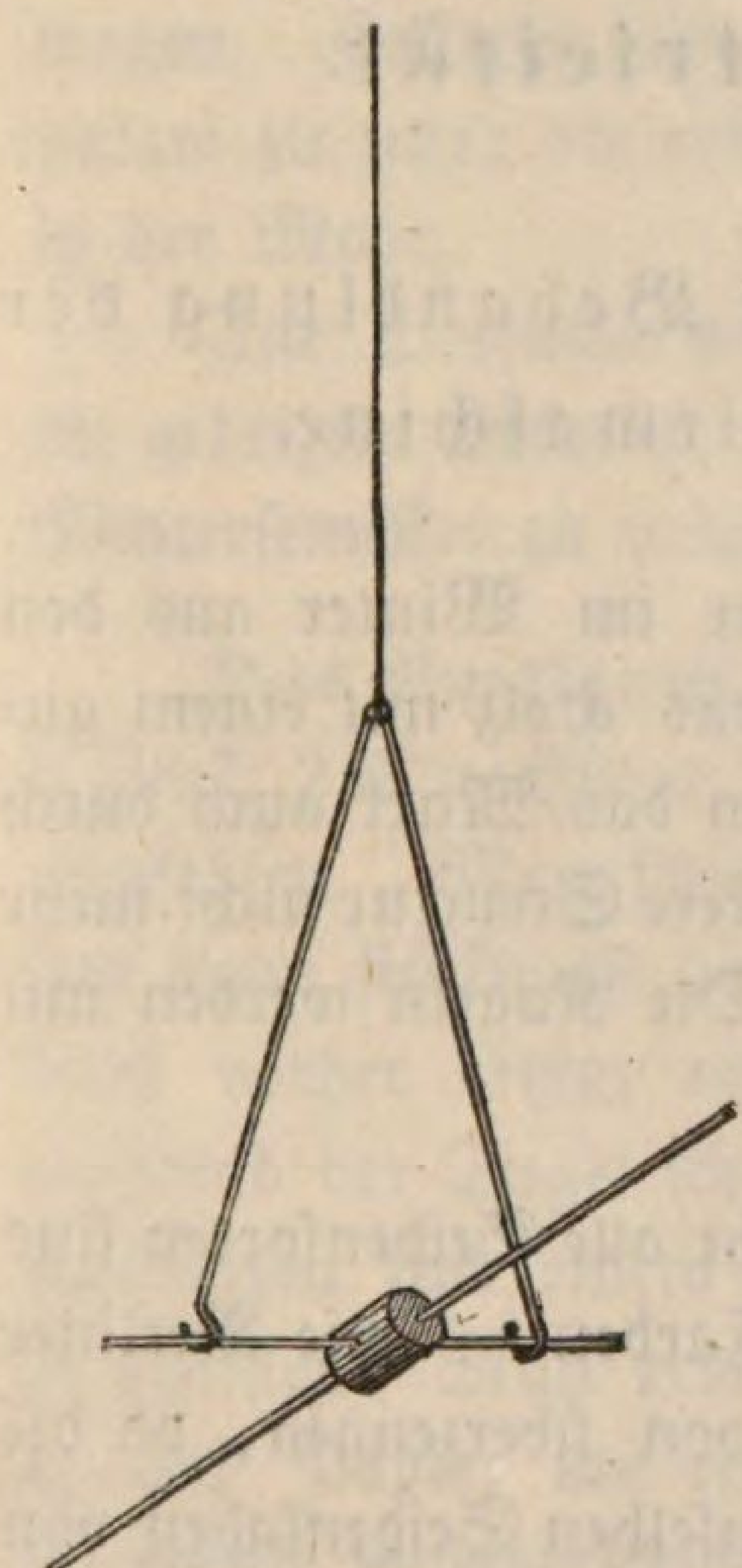
Man kann die Nadel auch in einer Gabel, wie Fig. 284, an einem Faden aufhängen. Die Gabel erhält dann bei *a* und *b* zwei Schrauben von Stahl, wie Fig. 285, an deren Spitze eine kegelförmige Vertiefung sich befindet, deren Spitze aber einen stumpferen Winkel bildet, als die

Fig. 285.



kegelförmige Spitze der Axe. Die beiden Schrauben werden so weit hineingedreht, daß die Spitzen der Axe im Grunde der Höhlungen liegen, ohne aber noch von den Schrauben gedrückt zu werden. Dieser Apparat stellt sich von selbst in den magnetischen Meridian.

Fig. 286.



Am einfachsten ist der schon vorher erklärte Apparat, Fig. 286. Man schiebt hier jedes Mal eine noch unmagnetische Stricknadel durch den Kork, so daß sie für sich horizontal steht und schneidet entweder unterhalb vom Kork weg oder befestigt oben auf denselben Klebwachs, um den Schwerpunkt einigermaßen in die Axe zu bringen, und magnetisirt sodann die Nadel, kehrt etwa auch noch ihre Pole um, u. s. w.

Einfluß des Erdmagnetismus auf das 191
Eisen. Diesen Einfluß zeigt man am einfachsten mittelst einer empfindlichen Magnetnadel und einem etwa 3—4 Fuß langen starken Stabe aus weichem Eisen, den man aber, nachdem er nochmals gut ausgeglüht wurde, nun zu nichts anderem gebrauchen darf, indem alle mechanische Behandlung des Eisens denselben einige Coercitivkraft giebt. Man hält die Stange in die Richtung der Inklinationsnadel, und nähert ihr eine kleine empfindliche Magnetnadel am oberen und am unteren Ende. Die Stange kehrt ihre Pole um, wenn man sie umkehrt.

Siebenter Abschnitt.

Versuche über die Elektricität.

A. Allgemeine Bemerkungen und die Behandlung der Elektrometer und der Elektrisirmaschine.

192 **Hollundermark.** Man erhält dasselbe nur im Winter aus den einjährigen Trieben des Hollunders, indem man das Holz mit einem guten Messer streifenweise herunterspaltet. Man kann das Mark auch durch Herausdrücken erhalten, allein es bekommt seine lockere Structur nicht mehr ganz, wenn man es auch sogleich wieder streckt. Die Kugeln werden mit einem scharfen Messer geschnitten.

193 **Seidenfaden und seidene Schnüre.** Nicht alle Seidensorten sind gleich gut, namentlich, wenn sie mit metallischen Farben — wie Berliner Blau — gefärbt sind. Man kann sich leicht davon überzeugen, ob die Seide isolirt, wenn man über einem Drahte an denselben Seidenfaden von etwa 8—10 Zoll Länge zwei Hollundermarkkugeln aufhängt, und beiden dieselbe Elektricität mittheilt. Sie dürfen im geheizten Zimmer im Winter nur sehr langsam wieder zusammen sinken. Insbesondere muß man bei seidenen Schnüren darauf sehen, daß sie keinen baumwollenen Kern haben, was beinahe immer der Fall ist. Sicherer geht man bei den sogenannten Nestelschnüren, welche immer ganz von Seide sind.

194 **Glas.** Das Glas ist in seiner Qualität für elektrische Zwecke sehr ungleich und leitet sehr oft die Elektricität. Gemeines grünes Glas — nicht aus weißer Glasmasse durch Kupfer oder Chrom grün gefärbtes — leistet in der Regel die besten Dienste. Doch giebt es auch weißes Glas, welches gut ist, wozu namentlich das böhmische gehört. Ob Glas gut isolirt, zeigt sich gleich, wenn man an demselben mittelst feiner Leinwandfäden Hollundermarkkügelchen aufhängt, und ihnen Elektricität mittheilt oder ein schon gut isolirtes Elektrometer ableitend damit berührt

Außerdem aber, daß einige Glasarten leiten, sind sie alle, wenn auch ungleich stark, hygroskopisch; sie werden auf ihrer Oberfläche gerne feucht. Darum zieht man, wo thunlich, massive Glassäulen den Röhren vor. Gegen diesen Uebelstand hilft auf einige Zeit das Erwärmen und das Abreiben mit warmen Tüchern; dauerhaft aber hilft das Ueberziehen mit Schell-

lackauflösung oder Siegellack. Wird Schelllack genommen, so darf der Ueberzug nur dünn sein und das Glas muß vorher erwärmt werden, gerade so, wie man beim Firnissen der Metalle verfährt; Siegellackauflösung aber wird so oft aufgetragen, bis sie einen undurchsichtigen, gleichförmig rothen Ueberzug bildet; man darf dabei immer nur wenig auf einmal auftragen. Ersteres hilft aber nicht vollständig, und letzteres entstellt die Apparate zu sehr; die rothe Uniform der elektrischen Apparate ist nicht mehr in der Mode.

Alle Versuche mit Reibungselektricität gelingen sicherer im Winter im geheizten Zimmer, und es ist daher zweckmäßig, diesen Abschnitt in das Wintersemester zu verlegen.

Das Amalgam. Kienmayer'sches Amalgam besteht aus 1 Zinn, 195
1 Zink, 2 Quecksilber, während Andere 2 Zinn, 3 Zink und 4 Quecksilber empfehlen. Man schmilzt zuerst das Zinn in einem hessischen Tiegel und setzt dann stückweise das Zink zu; zuletzt kommt das Quecksilber. Letzteres wird vorher erhitzt und unter beständigem Umrühren langsam zugesetzt, während der Tiegel schon vom Feuer genommen ist. Unter fortwährendem Umrühren mit einem eisernen Stabe gießt man dann die Masse langsam in Wasser. Man erhält das Amalgam auf diese Weise gekörnt und kann es auf Papier mit einem Hammer fein reiben. Es wird getrocknet und in einem wohlverschlossenen Gefäße verwahrt. Frisch gepulvertes wirkt immer besser, denn es oxydirt sich mit der Zeit auf der Oberfläche und das Oxyd hindert seine Wirkung.

Will man frisches Amalgam auftragen, so muß das alte vorher mit einem stumpfen Messer abgeschabt werden; das Leder wird sodann ganz schwach mit Fett bestrichen und das Amalgam mit dem Messer darauf möglichst gleichförmig vertheilt, indem man es aufstreicht. Besser ist es, das fein zerriebene Amalgam gerade zu auf das Leder zu schütten, dann das Reibzeug über Papier umzukehren und darauf herumzureiben. Es bleibt so gerade das nöthige Amalgam hängen. Das Amalgam muß nach dem Auftragen nicht nothwendig Metallglanz annehmen.

Ketten sind, wo thunlich, als Zwischenleiter zu vermeiden, weil durch 196
ihre zahllosen Ecken und Spitzen zu viele Elektricität verloren geht; besser sind biegsame Messingdrähte von der Dicke eines Millimeters, die man geradezu an den betreffenden Stellen umbindet. Ueberall aber, wo die Elektricität eine höhere Spannung annimmt, muß man Messigdrähte von 2—3 Linien Durchmesser, deren Enden wohl abgerundet und zu weiten Haken umgebogen werden, anwenden. Die ganzen Haken werden dann mit der Feile eben gezogen, und mit Bimsstein und Smirgel geschliffen, und stark mit Schelllack gefirnißt.

197 **Fundamentalversuche.** Das Angezogenwerden leichter Körper und den Unterschied zwischen Leiter und Nichtleiter, positiver und negativer Elektricität zeigt man am besten mit Hollundermarkkügelchen, wovon man einzelne und Paare an leinenen und seidenen Fäden befestigt, indem man diese geradezu mit einer Nadel durchführt, sodann auf der Gegenseite einen Knoten macht, und diesen durch etwas stärkeres Anziehen, nachdem der Fadenrest knapp abgeschnitten ist, in das Kügelchen hineinzieht. Die Leinwandfäden müssen sehr fein sein, da sie sonst durch das Gewicht der Kügelchen nicht gestreckt werden. Man kann übrigens auch sehr feinen Draht verwenden. Besser wird der Versuch in der Ferne sichtbar, wenn man statt der Hollundermarkkügelchen hohle Cylinder aus Goldpapier macht, und sie wie jene aufhängt. Zum Aufhängen kann man sich entweder einfach eines in einen Fuß befestigten, oben weit umgebogenen Drahtes bedienen, wie Fig. 287, oder diesen Draht durch eine Glasröhre isoliren, indem man ihn durch Siegellack einkittet, wie Fig. 288. Das allereinfachste Gestell

Fig. 287.

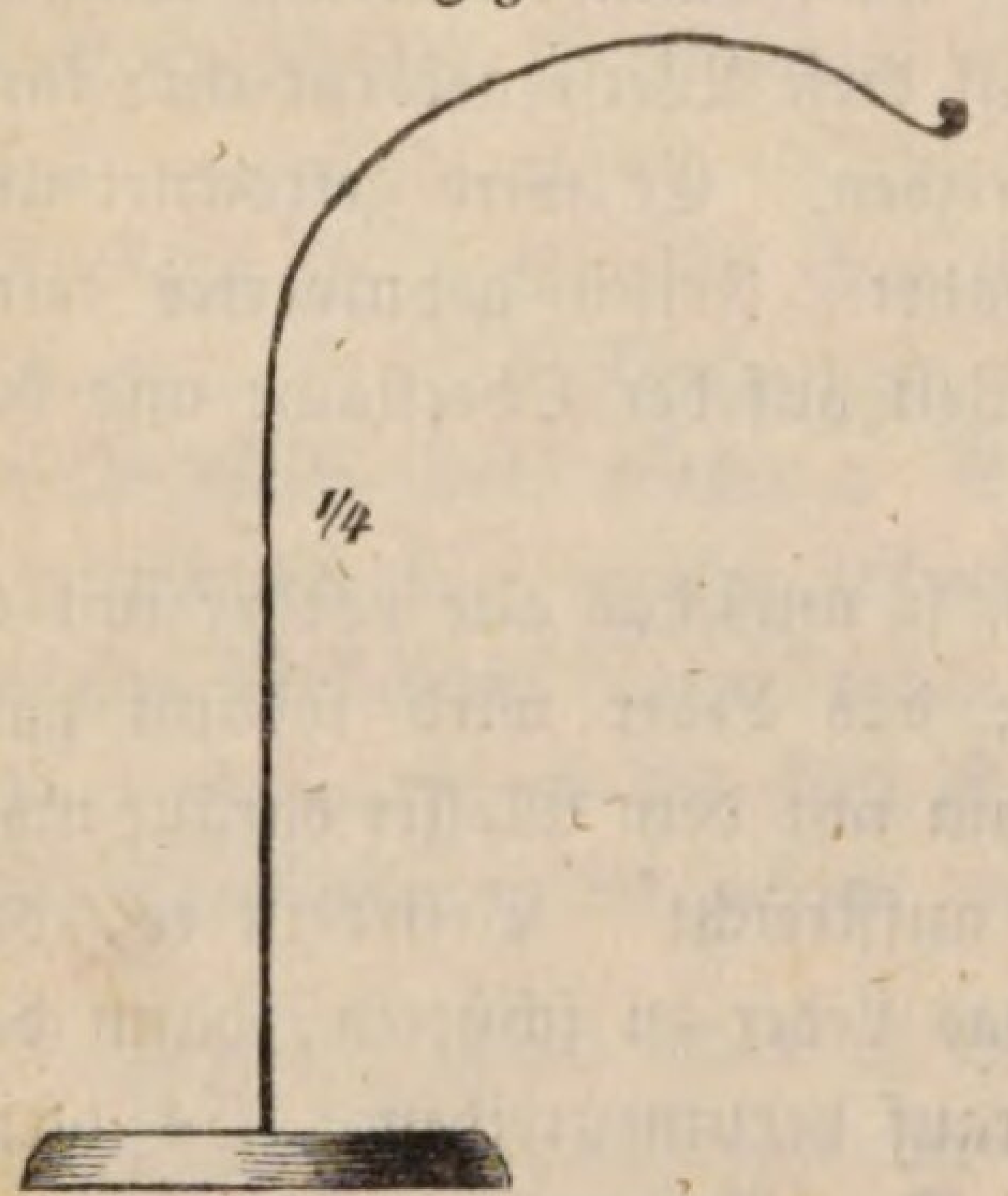
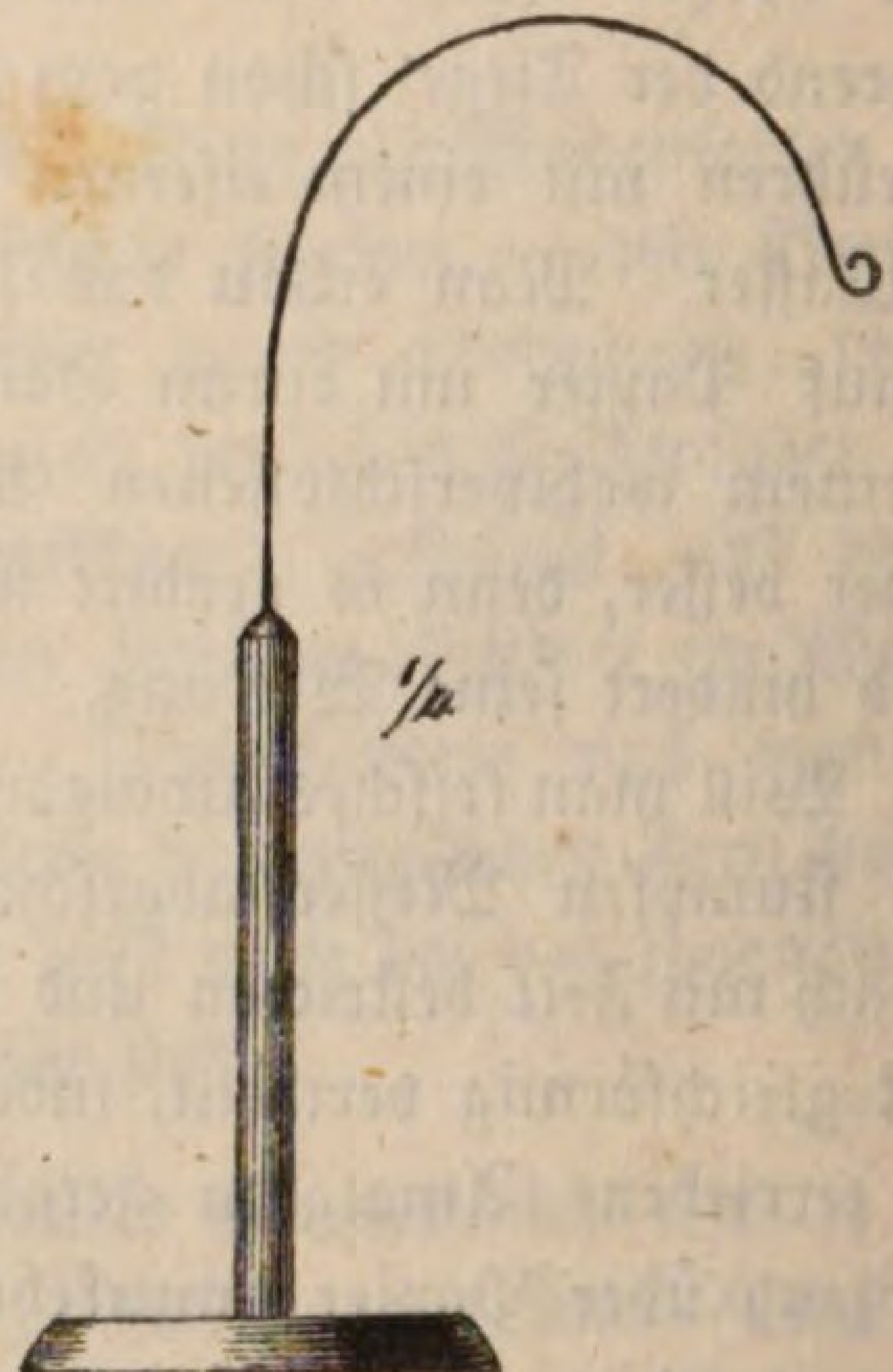


Fig 288.



erhält man, wenn man ein etwas breites Fläschchen zur Hälfte mit Sand oder Feilspänen füllt, und eine rechtwinklicht umgebogene Glasröhre durch einen Kork in dessen Hals steckt, oder einen ebenso gebogenen Draht. Letzteres ist für die hier in Rede stehenden Versuche besser, denn wenn die angewendete Glasröhre isolirte, so müßte man leinene Fäden ableitend berühren; darum muß man auch bei dem Gestelle, Fig. 288, einen ableitenden Draht anhängen, wenn man die Versuche mit dem leinenen Faden macht. Isolirende Gestelle sind aber dann zu mancherlei anderen Zwecken brauchbar. Die Fäden müssen jedenfalls 3—4 Zoll lang genommen werden. Damit ein solcher Fuß gehörig fest stehe, wird unterhalb eine ringförmige Vertiefung eingedreht und diese mit Blei ausgegossen.

Siegellack wird durch Reiben mit einem wollenen Lappen sehr leicht elektrisch; bei der hiezu bestimmten Glasröhre muß man gewöhnlich für den Anfang etwas länger reiben, bis die Wirkung eintritt, besonders wenn man dieselben nicht vorher erwärmt. Das Reiben geschieht mit einem ledernen amalgamirten Lappen.

Man kann auch eine fingerdicke, etwa 3 — 4 Zoll lange Glasstange an einem Faden aufhängen, sie reiben und dann zeigen, daß sie von der anderen Glasstange abgestoßen, von der Siegellackstange aber angezogen wird. Man muß dabei durch Verrücken des Fadens die Stelle des Schwerpunktes des Glasstabes suchen und hier ringsum mit der Feile einen Strich machen, in welchen man dann den Faden einknüpft, damit er sich beim nachfolgenden Reiben nicht wieder verschiebt. Auf gleiche Weise kann man mit einer Siegellackstange verfahren, an der sich der Faden natürlich leichter befestigen läßt. Sind beide aufgehängte Stangen gerieben, so ziehen sie einander an. Am besten legt man bei diesem Versuche die geriebenen Glas- oder Siegellackstangen in ein zu einem Bügel zusammengebogenes Zoll langes Stück Kartenpapier, welches an einem der oben erwähnten Gestelle entweder an einem feinen Drahte, oder an einem andern ungedrehten Faden aufgehängt wird, z. B. an einem vielfachen Seidenfaden, wie die rohe Seide in den Handel kommt.

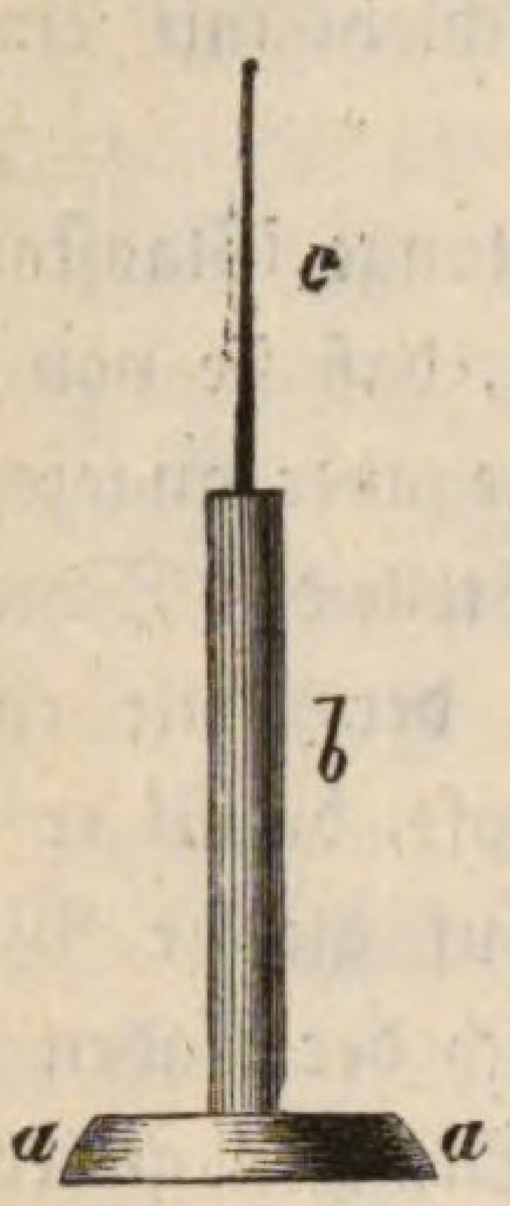
Um zu zeigen, daß bei jedem Reiben beide Elektricitäten frei werden, kittet man am einfachsten eine etwa 2 Zoll breite einerseits mit einem Leder beleimte Holzscheibe an eine Siegellackstange. Das Leder wird, wie gewöhnlich, amalgamirt und dann die Scheiben auf einer Glasstange oder auch auf einer Glasscheibe gerieben. Beide werden dadurch elektrisch, und zwar entgegengesetzt, was ihre Wirkung auf bereits elektrisch gemachte Holundermarkkügelchen oder irgend ein anderes Elektroskop zeigt.

Schleift man die eine Hälfte einer Glasstange matt, was auf jedem gewöhnlichen Schleifsteine bald geschehen ist, so kann man an ihr den Einfluß, den die Beschaffenheit der Oberfläche auf die entstehende Elektricität hat, sehr gut sehen. Eine solche Glasstange, wird, wenn sie z. B. mit Wollenzeug gerieben wird, auf der matten Seite positiv, auf der glatten negativ elektrisch; jede Stelle muß aber einzeln gerieben werden; reibt man die ganze Stange, so erhält man meistens keine Elektricität.

Die elektrische Nadel. Man kann dieselbe einfach auf folgende 198
Weise herstellen *a a*, Fig. 289 (a. f. S.) ist ein hölzernes Füßchen von etwa $1\frac{1}{2}$—2 Zoll Durchmesser, in welches die gut isolirende Glasröhre *b* gesteckt ist; in letztere wird mittelst Siegellack oberhalb eine feine Nähnadel *c* gesteckt, auf welcher sich die Nadel drehen soll. Will man dieselbe im nicht isolirten Zustande gebrauchen, so darf man nur ein dünnes, am Ende

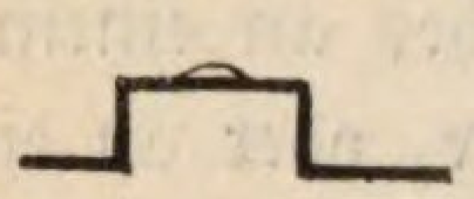
hakenförmig gebogenes Drähtchen, das etwas länger ist als die Glasröhre *b* an die Nadel *c* hängen. Die elektrische Nadel selbst kann aus einem einfachen Messingdrahte von etwa einer halben Linie Dicke und zwei Zoll Länge bestehen, in dessen Mitte man eine konische Vertiefung fast durchbohrt und sie mit einem konischen Stückchen Holz und Smirgel ausschleift. Die Enden der Nadel werden nach dem Aequilibriren sorgfältig abgerundet. Leichter und beweglicher wird die Nadel, wenn man das Hütchen für sich aus Messing macht und dann diametral gegenüberstehend zwei etwas größere Stecknadeln mit den Spitzen an dasselbe löthet. In diesem Falle kann man das Hütchen auf der Drehbank fertig machen und es daher auch sorgfältiger und besser ausschleifen.

Fig. 289.



Man erhält übrigens schon ein sehr leicht bewegliches Hütchen, wenn man ein Stückchen Messingblech von der Breite einer Linie und etwa 0,2 Linien Dicke biegt, wie Fig. 290, und dann in die Mitte desselben, mittelst der Kernspitze eine kleine Vertiefung einschlägt, wie dieses schon bei den Magnetnadeln näher erörtert ist. Die Nadeln werden auch hier angelöthet.

Fig. 290.



199 **Coulomb's Elektroskop.** Man verfertigt dasselbe am einfachsten aus einem weißen Schoppenglase (= $^3/_8$ Liter), über dessen isolirende Eigenschaft man sich dadurch Gewißheit verschafft, daß man die elektrische Nadel mit nicht isolirtem Stative daraufsetzt, und beobachtet, wie lange sie bei trockenem Wetter elektrisch bleibt. Auf das Glas richtet man einen hölzernen Deckel *a a*, Fig. 291, der auf demselben mäßig fest steckt, und in der Mitte eine Oeffnung hat, in welche eine 2 — 4 Zoll lange und $^1/_4$ — 1 Zoll weite Glasröhre gekittet wird, welche oben eben geschliffen ist. Auch diese erhält einen aufsteckbaren Deckel von Holz *b b*, der eine kleine dreieckige Oeffnung hat, so daß die Spitze des Dreiecks mit der Axe der Röhre und des Glases zusammen fällt; diese Spitze wird sorgfältig ausgeglättet. Außerdem wird in diesem Deckel ein mit Reibung drehbarer hölzerner oder metallener Nagel

Fig. 291.

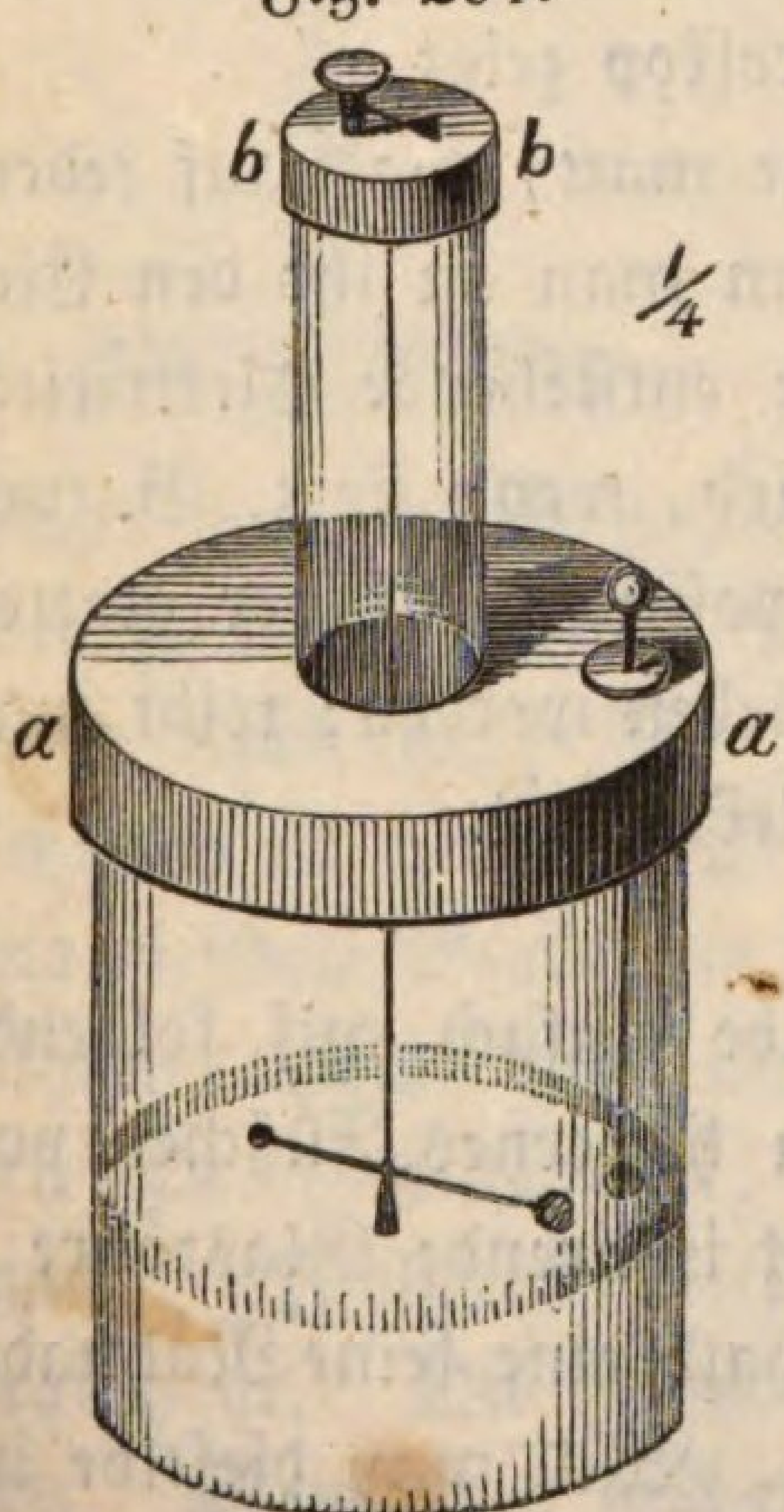
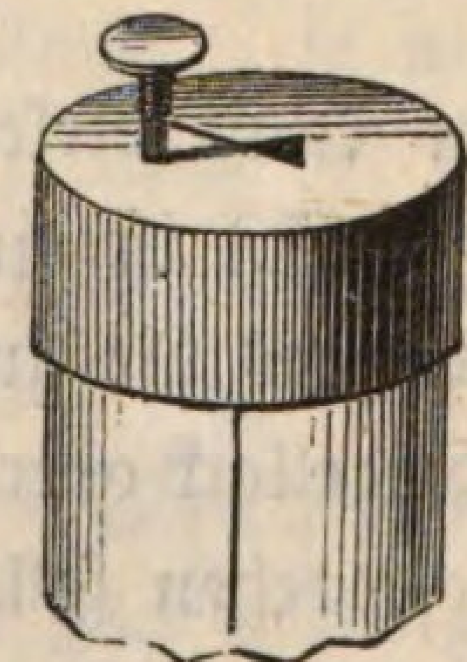


Fig. 292.



gesteckt, um auf ihm den durch die Oeffnung hängenden Coconfaden aufzuwickeln, wie dieses Fig. 292 (a. v. S.) zeigt.

Cocons sind wohl überall zu bekommen, und man kann sich selbst von denselben den Seidenfaden auf eine Papierrolle abwickeln, wenn man sie in warmes Wasser legt. Da man zu mancherlei Zwecken solcher einfacher Seidenfäden bedarf, so muß man sich schon einmal diese Mühe nehmen. Im Handel kann man sie nämlich nicht wohl bekommen, indem die hiefür bestimmten Fäden schon beim Abhaspeln mindestens triplirt werden. Doch bedarf man auch zu manchen Zwecken stärkerer Fäden, wozu dann diese letzteren sich besonders eignen. Man kann sie aus den Seidenzwirnereien — sogenannten Seidenfabriken — leicht bekommen. Durch bloßes Auflösen schon fabricirter Seide erhält man kaum brauchbare Fäden.

An diesen Conconfaden nun befestigt man unten durch Ankleben einen dünnen horizontalen Schelllackfaden, den man sich leicht in gleichförmiger Dicke durch Ausziehen eines durch und durch erwärmten Stückchens Schelllack verschaffen kann. In einer dem Halbmesser des Glases entsprechenden Entfernung vom Aufhängepunkte klebt man ein Scheibchen aus Rauschgold von etwa 1 ½—2 Linien Durchmesser so an den Schelllackfaden, daß seine Ebene vertikal zu stehen kommt. Gerade dem Conconfaden gegenüber kann man noch ein kurzes Stückchen Schelllack vertikal anbringen, damit der Schwerpunkt des Ganzen etwas weiter nach unten kommt, und sodann beide Arme des Schelllackhebels dadurch in's Gleichgewicht setzen, daß man anfänglich den leeren etwas länger läßt, und den Ueberschuß durch ein genähertes Licht in ein Knöpfchen schmilzt; wäre dieses zu schwer, so darf man nur noch mehr zurückschmelzen. In dem Deckel *a a* des Glases muß sich eine Oeffnung befinden von etwa ½ Zoll Durchmesser, durch welche man den zu prüfenden Körper an einem Schelllackstäbchen zu der Rauschgoldscheibe bringt. Das Stäbchen hat oberhalb eine kleine Scheibe, mit der man es auf die Oeffnung im Deckel auffetzen kann, so daß dann die unten daran befindlichen Körper gerade bis zum Rauschgoldscheibchen herunter reichen. Die Abstoßung mißt sich auf einem rings um das Glas geklebten, in 360 Grade getheilten Streifen Papier, und das Null der Theilung fällt mit der Stelle zusammen, wo das Scheibchen die eingeführten Körper berührt. Für gewöhnlich führt man jedoch die Körper selbst nicht in das Glas, sondern durch die Oeffnung im Deckel wird ein in eine gut isolirende Glasröhre eingeschlossener Draht, der sich oben und unten in eine Kugel endigt, auf gleiche Weise eingesetzt, wie das Schelllackstäbchen, und diesem die Elektricität mitgetheilt, was natürlich schon stärkere Elektricität erfordert. Durch Drehung der oberen hölzernen Fassung an der Glasröhre kann man es immer so richten, daß das Scheibchen aus Rauschgold mit dem Null der Theilung zusammenfällt. Für die meisten Versuche wird es gut sein, wenn

man etwas Chlorcalcium in einem Schälchen in das Glas stellt, um die Luft gehörig zu trocknen, doch ist dieses nicht absolut nöthig, und reicht bei eigentlich feuchtem Wetter auch nicht aus. Bei solchem können die Fundamentalversuche über die Elektricität überhaupt gar nicht mit dem gehörigen Erfolge angestellt werden.

Außer den bereits angeführten drei Vorrichtungen, um das Vorhandensein der Elektricität zu erkennen, nämlich dem Hollundermarkelektroskop, der elektrischen Nadel, und dem Coulomb'schen Elektroskop, hat man nachfolgende sogenannte Elektrometer, die theils nur zu bestimmten Zwecken gebraucht werden, theils auch wirklich wenigstens einige Messung und Vergleichung über die Stärke der Elektricität zulassen, und in ihrem Gebrauche einfacher sind, als das von Coulomb.

200 Das **Quadrantenelektrometer.** Am einfachsten wird dasselbe aus einem runden hölzernen Stabe *ab* Fig. 293 verfertigt, an welche man einen elfenbeinernen Bogen befestigt, von dem ein Quadrant etwa von 5 zu 5 Grade getheilt ist. Der Mittelpunkt der Theilung befindet sich bei *c*, wo das kleine Pendel *cd* leicht beweglich aufgehängt ist. Elfenbeinerne Platten, woraus man solche Bogen schneiden kann, bekommt man bei den Kammmachern. Die Theilung wird mit einer Radirnadel — einem auch sonst mannigfach brauchbarem Werkzeuge — etwas tief eingerissen, und dann mit Tusche geschwärzt; überflüssige Schwärze schabt man mit Glas wieder weg. Der Bogen wird erst eingesetzt, wenn der Träger des Pendels sich an Ort und Stelle befindet; diesen Träger macht man aus einem Stückchen Messing so, wie Fig. 294 in natürlicher Größe zeigt, oder man biegt auch nur ein Stückchen Messingblech zum vorderen Theil um und schraubt dasselbe mit einer kleinen eisernen Schraube fest, das Pendel besteht aus einem dünnen Streifchen Fischbein oder Holz, welches man da, wo die stählerne Axe (Stricknadel-Ende) durchgeht, etwas breiter läßt, oder auch aus einem mehr oder weniger feinem Drahte; eben so wird die Kugel *d*, je nach der Stärke der Elektrisirmaschine — denn bei dieser nur wird das Instrument gebraucht —, aus Hollundermark, Kork oder Metall gemacht. Unterhalb wird in den Stab ein messingner Stift eingeschlagen, der bis *d* reicht, wo das Holz eingeschnitten wird, so daß die Kugel *d* und der Stift *e* in Berührung kommen, wenn das Pendel in Ruhe ist. Durch den Stift *e* wird das Instrument in eine passende Oeffnung des Conductors gesteckt, oder nach Umständen auch eingeschraubt. Daß die Stärke der vorhandenen Elektricität nicht den Graden der Theilung proportional sei, ist für sich klar.

Fig. 293.

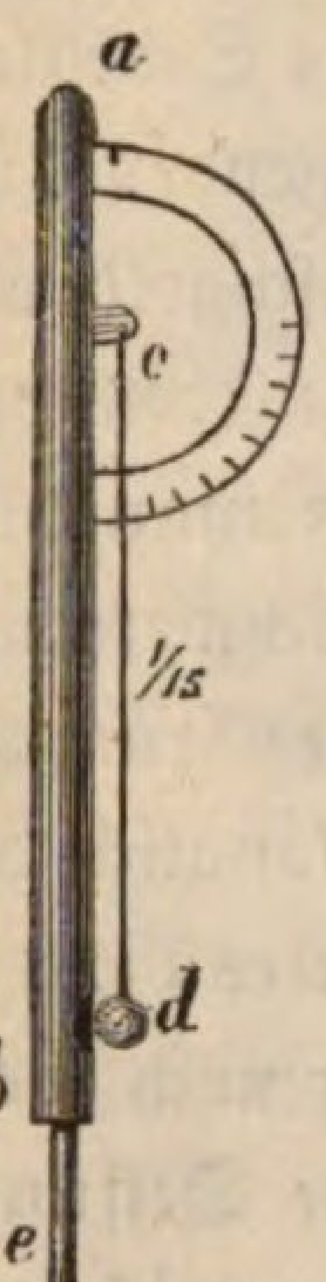
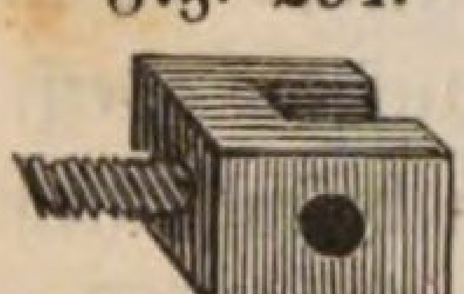


Fig. 294.



Das Strohhalm-Elektrometer und das **Goldblattelektrometer.** Beide werden am einfachsten aus einem Glase mit engem Halse gemacht, Fig. 295. Die Glasröhre, welche den leitenden Draht enthält, muß gut isoliren und wird dann durch einen Kork gesteckt. Gut ist es, wenn von den Seiten *a b* Stanniolstreifen innerhalb des Glases bis über die Oeffnung heraufgehen, um die anschlagenden Blättchen zu entladen. Auch Stückchen von Binsenmark können statt der Goldblättchen oder der Strohhalmen gebraucht werden; sie sind weniger empfindlich als Goldblättchen und empfindlicher als Strohhalm; sie werden aber, wie letztere, an feine Drahthäkchen aufgehängt, wozu das Ende des Leitungsdrahtes zwei Löcher haben muß. Wenn durch Herausnehmen des Korks das Glas bereits elektrisch geworden ist, so wird man Goldblättchen — wenn sie aus Buchbinder-Gold sind — schwerlich hinein bringen, weil sie stets vom Halse des Glases angezogen werden; man muß dann warten, bis dieses sich wieder gegeben hat. Die Goldstreifen selber läßt man vom Buchbinder schneiden und an das keilförmige Ende des Leitungsdrahtes ankleben, sie werden wie die Strohhalme $1\frac{1}{2}$—2 Zoll lang und 1 — 2 Linien breit genommen. Etwas stärkeres Gold ist wohl für die meisten Fälle wünschenswerth, und darum Zwischgold (aus Gold- und Silberplatten) zu empfehlen. Soll das Strohhalm-Elektrometer zu vergleichenden Versuchen dienen, so nimmt man hiezu ein recht reines Schoppenglas von starkem Glase und versieht es mit einem hölzernen oder metallenen Deckel, durch den die Glasröhre geführt wird. Auf den Boden des Glases setzt man in einem Stückchen Holz einen elfenbeinernen Gradbogen, Fig. 296. Wirkliche Halme von Getreide kann man jedoch nur anwenden, wenn das Instrument für starke Elektricität bestimmt ist; gewöhnlich nimmt man das oberste feinste Ende von zarten Grashalmen. Bei ganz zarten Grashalmen steckt man das Ende eines zu einem Häckchen umgebogenen feinen Silberdrahtes in die Höhlung des Halmes gerade hinein, bei stärkeren Grashalmen kann man das Ende des Häkchens durch den Halm quer durchstechen und dann umbiegen. In jedem Falle muß sich der Leitungsdraht in eine Schraube endigen, um nach Belieben eine kleine Kugel von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser oder Condensatorplatten aufschrauben zu können. Solange die Divergenz 30^0 nicht übersteigt, kann man die elektrische Spannung ohne merklichen Fehler dem Winkel proportional nehmen. 201

Fig. 295

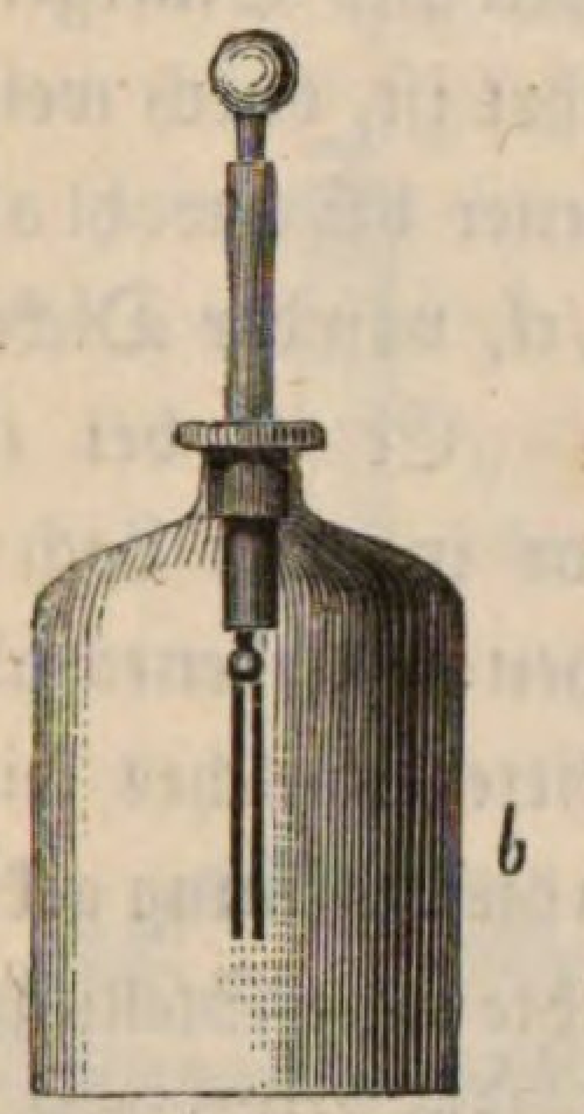


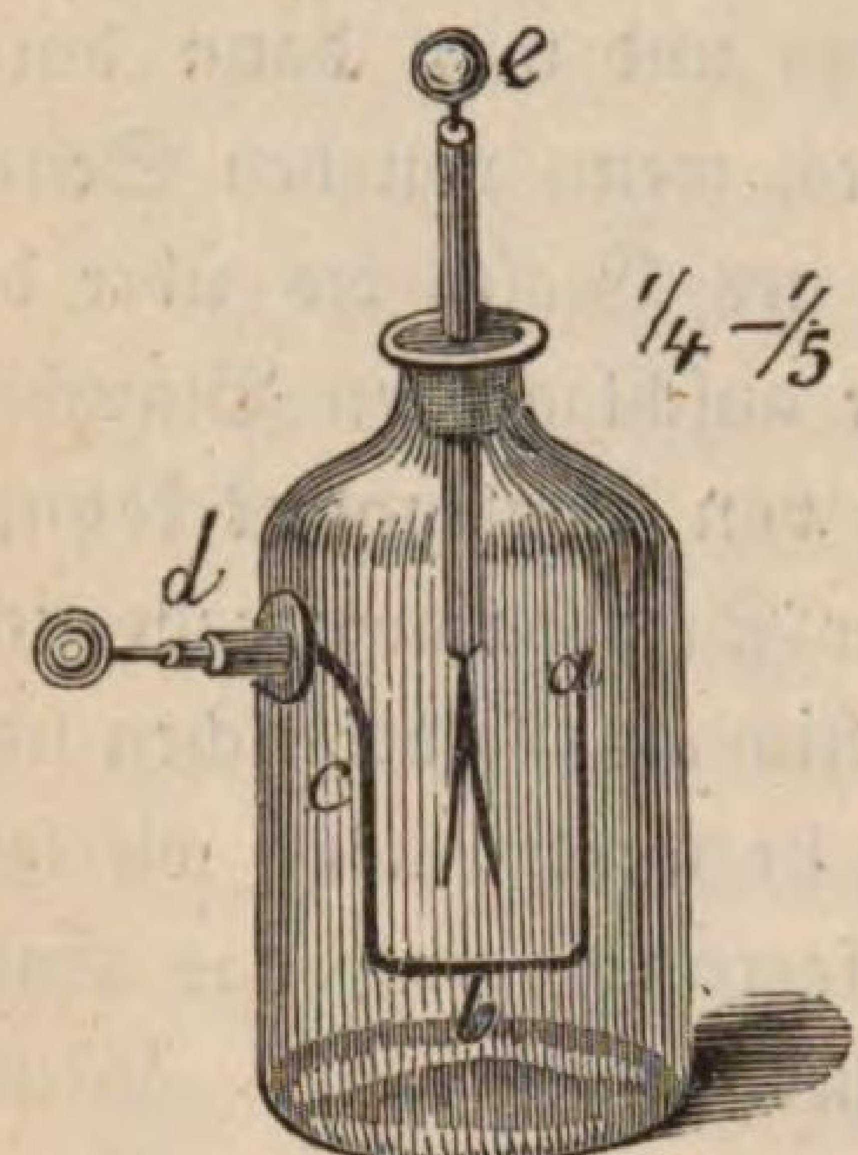
Fig. 296.



Das sehr empfindliche Goldblattelektrometer von Dallmann zeigt 202

Fig. 297; es unterscheidet sich von dem gewöhnlichen nur dadurch, daß in eine Seitenwand des parallelepipedischen oder runden Glasgefäßes mit einem Kupferstäbchen und Smirgel ein etwa 2 Linien weites Loch gebohrt ist, durch welches ein dreimal rechtwinklicht gebogener bei *a* wohl abgerundeter Messingdraht *a*, *b*, *c*, *d*, von der Dicke einer Linie, eingeschoben wird. Er ist bei *d* in ein etwa zolldickes mit einem in das Loch der Seitenwand passenden Zäpfchen versehenes abgedrehtes Stückchen Holz eingekittet, welches seinerseits auf die Seitenwand und in die Oeffnung gekittet wird und dazu dient, dem Drahte seine Stellung zu sichern. Man könnte auch, wie Fig. 297 zeigt, ein Röhrchen von Messing an ein rundes Blech löthen, in dieses eine Glasröhre und in diese den Draht kitten, wodurch der Apparat sauberer wird. Da man nun diesem in einen Knopf endenden Drahte selbst die entgegengesetzte Elektricität mittheilen kann, so werden die Goldblättchen um so leichter auseinanderweichen, wenn der Knopf *e* ebenfalls Elektricität erhält. Die oben erwähnten Stanniolstreifen auf der innern Seite des Glases, um die anschlagenden Strohhalme zu entladen, reichen zwar für Strohhalme, Binsenmark und Stanniolblättchen recht gut aus; bei Goldblättchen aber muß man darauf sehen, diese so kurz zu nehmen, daß sie die Wände des Glases nicht berühren können, weil es schwer hält sie von denselben loszubringen; selbst wenn man die Glasröhre mit dem Leitungsdrahte sachte herauszieht, geht es nicht immer ohne Zerreißung ab. Ueberhaupt muß man eben so empfindliche Elektrometer, wie das in diesem Paragraphen beschriebene, wo die Goldblättchen nur 1 — 1½ Zoll lang und 1 Linie breit und aus dem feinsten Golde genommen werden, nie starker Elektricität aussetzen und durchweg sehr vorsichtig behandeln. Man kann sich ja sehr leicht mehrere Goldblattelektrometer, aus schwererern Blättchen, aus Zwischgold — oder Elektrometer aus Stanniol — alle diese natürlich ohne den besondern gebogenen Draht, machen, um Instrumente für jeden Zweck zu haben.

Fig. 297.



203 Ein zu vielen Zwecken sehr gutes Elektrometer ist das in Fig. 298 in vereinfachter Gestalt abgebildete, welches ursprünglich von Oersted angegeben wurde. Ein gut isolirendes Schoppenglas wird mit einem hölzernen Fuße und gleichem Deckel versehen; letzterer bleibt abnehmbar und erhält in der Mitte eine Oeffnung um eine Glasröhre *a* einzukitten, in welche oberhalb abermals ein kleinerer Pfropf paßt, durch den ein Messingstift *b* geführt ist. An diesen Messingstift ist ein einfacher — oder nach den Zwecken auch mehrfacher — Seidenfaden geklebt, der unterhalb eine Zoll

lange Nadel vom feinsten Drahte trägt. Seitwärts wird in das Glas etwa ein Zoll vom Boden ein Loch gebohrt und hier ein hölzernes oder messingenes Futter *c* angekittet, durch welches eine Glasröhre führt. In diese Glasröhre ist durch Korkscheiben der Zuleiter *d d e* befestigt; er besteht außerhalb aus einem starken Messingdraht, der aufwärts gebogen ist und in eine Schraube endigt, um nach Belieben einen Knopf oder einen Condensator aufschrauben zu können; innerhalb des Glases ist an den Draht ein linienbreiter dünner überall abgerundeter und geglätteter Messingstreifen vertikal mit Zinn eingelöthet, welcher bis auf etwa einen Viertelzoll die gegenüberstehende Glaswand erreicht, und in der Mitte des Glases gebogen ist, wie Fig 299 zeigt. Das Instrument kommt auf ein Brett mit Stellschrauben und wird so gerichtet, daß der Faden in die Mitte der Ausbiegung des Messingstreifens reicht, und die Nadel die in Fig. 299 angedeutete Stellung hat. Durch Drehung des Stiftes *b* wird bewirkt, daß die Elasticität des Fadens die Nadel gerade noch mit dem Messingstreifen in Berührung erhält. Man zieht zu dem Ende den Träger *b* des Fadens in die Höhe, so daß die Nadel sich frei drehen kann, richtet dann durch Drehen des Trägers ihre Ruhelage so, daß sie die eben angegebene Bedingung erfüllt, und senkt nun die Nadel wieder. Theilt man nun dem Zuleiter Elektricität mit, so theilt dieser dieselbe auch der Nadel mit, und letztere wird sodann abgestoßen. Dieses Instrument ist außerordentlich empfindlich und sehr zuverlässig; es leistet z. B. für den Volta'schen Fundamentalversuch mehr, als alle andere; allein beim Unterrichte ist es nicht wohl brauchbar, weil die feine Nadel nur in der Nähe gesehen werden kann. Noch empfindlicher wird dieses Instrument, wenn man beinahe rechtwinklicht zu dem Zuleiter einen Messingdraht einführt, wie bei Fig. 300, so daß die Nadel in dem spitzigen Winkel hängt, den die Ebene dieses Drahtes mit dem Zuleiter

Fig. 298.

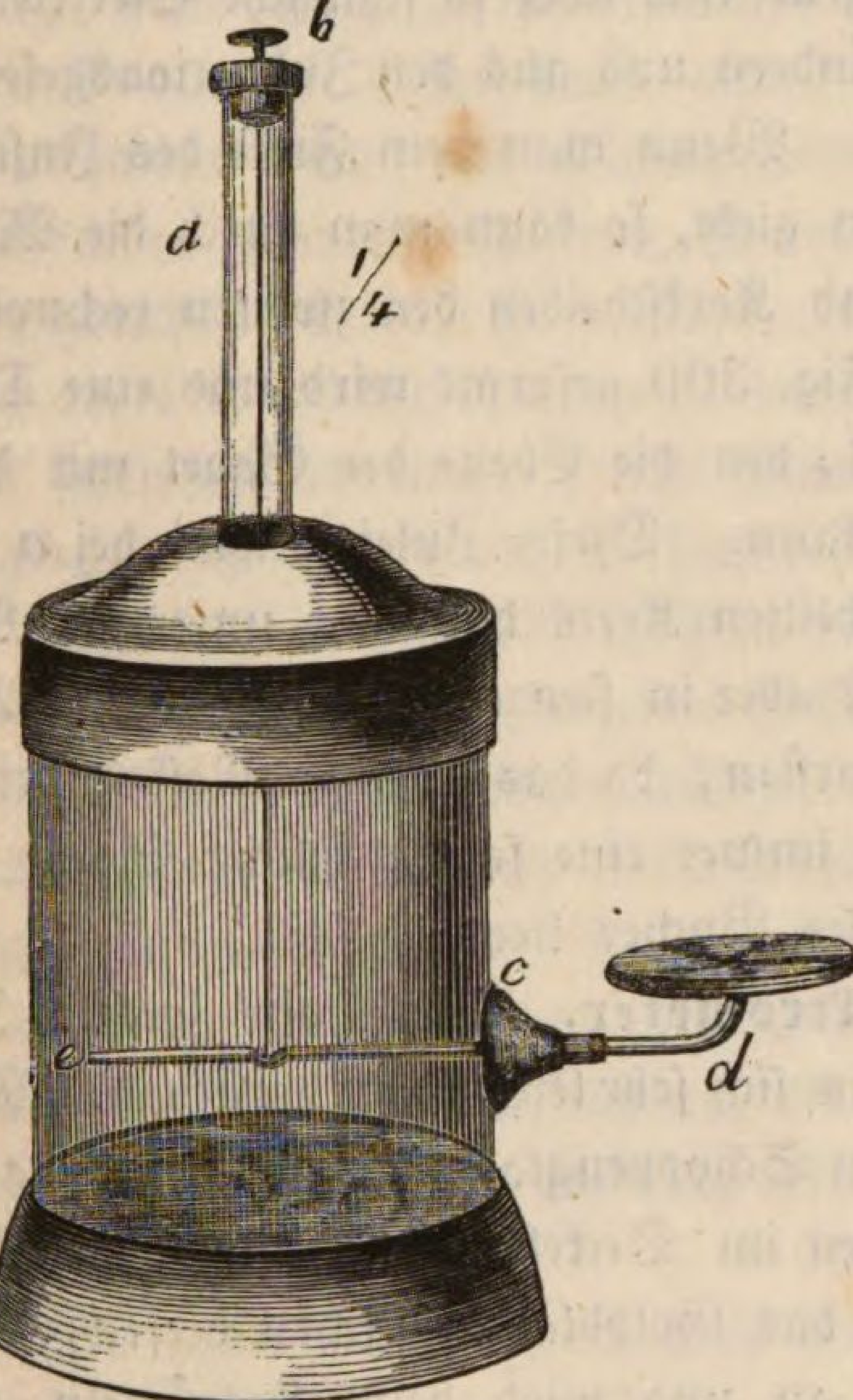


Fig. 299.



Fig. 300.



macht. Diesem Drahte kann man vorher schwache Elektricität mittheilen, welche dann vertheilend auf den eigentlichen Zuleiter *de* wirkt, worauf die Nadel eine zwischen beiden mittlere Stellung einnimmt. Erhält nun der Knopf oder die Condensatorplatte auf *DE* irgend eine noch so schwache Elektricität, so wird sich die Stellung der Nadel ändern und aus den Inductionsgesetzen wird man die Art derselben erkennen. Wenn man dem Fuße des Instruments selbst etwas hohe Stellschrauben giebt, so kann man durch die Mitte des Bodens durch eine Glasröhre und Korkscheiben den zweiten rechtwinklichten Draht führen, der dann wie Fig. 300 geformt wird und eine Drehung zuläßt, so daß man den Winkel, den die Ebene der Gabel mit dem Hauptzuleiter macht, beliebig ändern kann. Dieser Zuleiter wird bei *a* zusammengeschraubt. Selbst einen getheilten Kreis hat man unter der Nadel des Instruments angebracht; es ist aber in seiner einfachen, in Fig. 298 abgebildeten Gestalt wohl am brauchbarsten, da das genaue Messen bei so unendlich kleinen Elektricitätsmengen, immer eine sehr mißliche Sache ist, und jedenfalls außer dem Bereiche dieses Buches liegt.

204 **Das Bohnenberger'sche Elektrometer.** Auch ein solches Instrument kann man sich sehr leicht selbst herstellen. Man könnte auch hier ein Schoppenglas nehmen und die Zamboni'schen Säulen im Deckel anbringen; allein hier hängt dann auch das Goldblatt zwischen diesen, klebt sich leicht an sie an und wird beim Losrütteln gar zu oft zerrissen. Allerdings kann man statt einem Goldblatt wohl auch ein ganz schmales Streifchen von feinem Stanniol, woran unten ein Scheibchen gelassen wird, oder Silberlahn, oder Binsenmark nehmen, welche nicht so leicht verdorben werden, und sich nicht so fest anhängen, aber auch weniger empfindlich sind. Besser ist es immer, man nimmt ein etwa 2 Zoll weites Lampenglas, wie Fig. 301 zeigt, zu welchem Deckel und Fuß von Holz gedreht werden; der Fuß, Fig. 302, erhält in der Entfernung von ½—1 Zoll zwei Vertiefungen zu den Glasröhren der Zamboni'schen Säulen. Die Vertiefungen verbindet man durch einen Schlitz, um den Boden beider durch ein zusammenhängendes Stanniolstreifchen belegen zu können. Die Röhren werden unten offen gelassen, und mit den Papierscheibchen erst gefüllt, wenn sie an Ort und Stelle eingekittet sind; da sie durch den Stanniolstreifen im Boden zu einer Säule verbunden sind, so erhält man immer gleich starke Pole.

Fig. 301.

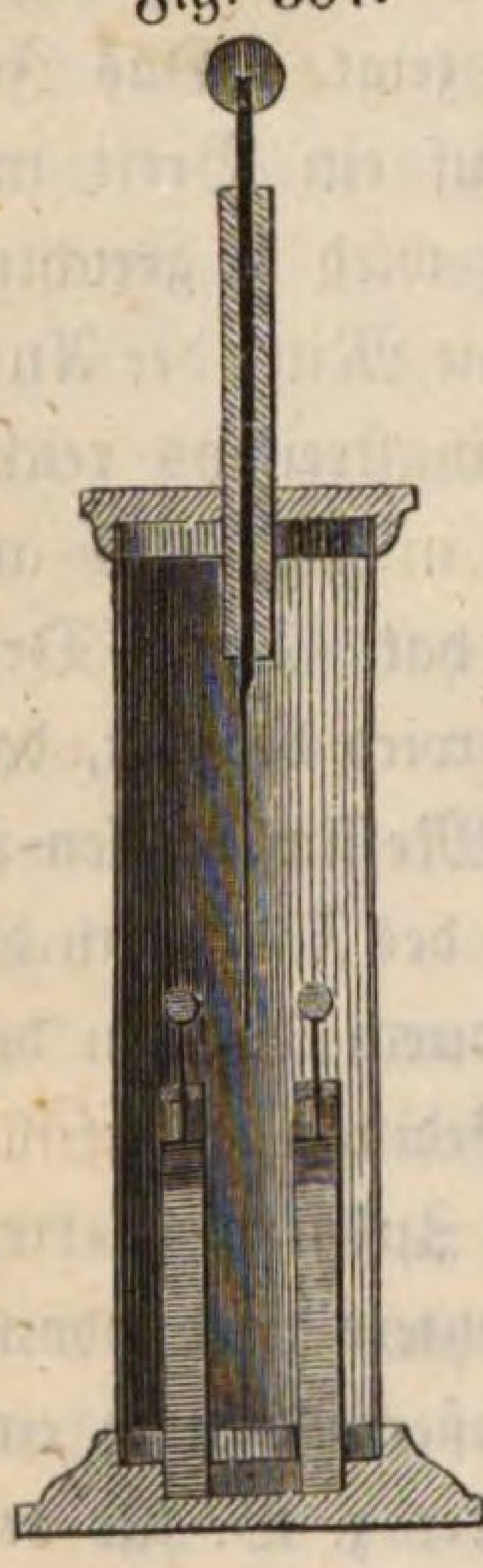
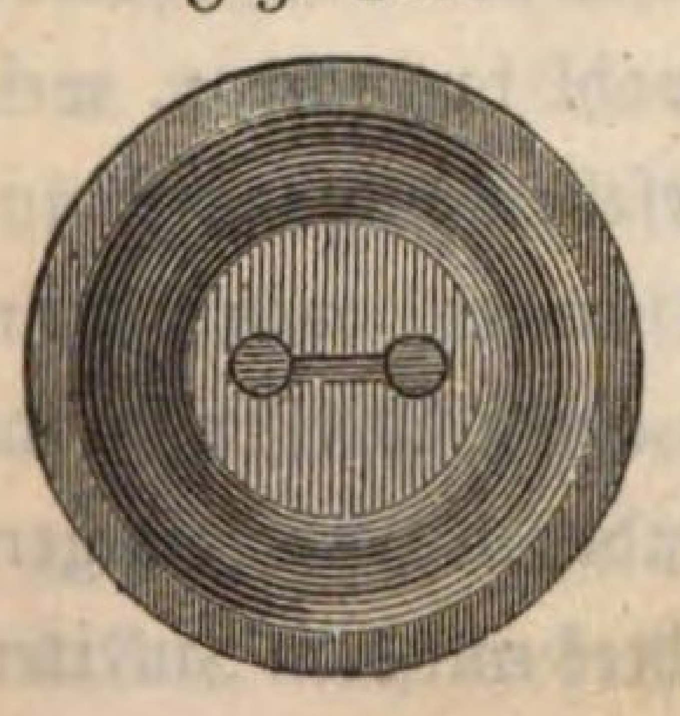


Fig. 302.



Die Glasröhren müssen in Bezug auf ihr Isolirungsvermögen vorher sorgfältig geprüft werden, und so weit sein, daß die Scheibchen sich darin nirgends ansperren. Blättchen von 2—4 Linien Durchmesser sind groß genug; man schlägt sie mittelst eines entsprechenden Durchschlages, den man ja zu 9—12 Kr. haben kann, aus dem mittelst Stärke zusammengekleisterten unächten Gold- und Silberpapiere; läßt man das Papier durch den Buchbinder zusammenkleistern, so muß man ihm empfehlen, nicht etwa mit Leim gemischte Stärke zu nehmen, deren sich dieselben sonst öfter bedienen. Das obere Ende der Röhrchen kann man durch einen sauber geschnittenen Kork schließen und einen Draht hindurch stecken, der beiderseits zum Ringe umgebogen wird und auf die Papierscheibchen drückt; daß die hervorstehenden Enden gleich lang sein müssen, versteht sich von selbst Will man das obere Ende mit einer messingenen Fassung, welche außen eine Schraube hat, versehen, um einen messingenen Deckel mit einem abgerundeten Knopfe darauf zu schrauben, so kann man kleine Stückchen Messingdraht in die Glasröhren stellen, um den Raum bis zu den Scheibchen auszufüllen, wenn die Röhren nicht voll sind. Sind diese Drähte etwas länger als der Raum, so üben sie zugleich einen Druck auf die Scheibchen aus. Der Pol, welcher Kupfer oben hat, ist der positive, weil das letzte Kupfer ungepaart ist, wie das letzte Zinn.

Der Leitungsdraht wird auch hier, wie bei den übrigen Elektrometern, entweder mit Seide umwickelt in die Glasröhren gesteckt, oder mit Siegellack überzogen, und auch hiemit eingekittet. Man gibt dem äußeren Ende desselben das gleiche Gewinde bei allen Elektrometern, um für alle dasselbe Paar von Condensatorplatten verwenden zu können.

Die weite Glasröhre wird in ihre Fassungen nicht eingekittet, sondern man beleimt sie, etwas weniger breit als die Fassung tief ist, mit Sammt oder auch nur mit Leinwand, um sie fest einstecken zu können. Die Scheibchen der Zamboni'schen Säulen legen sich sehr locker auf einander und man kann daher mehr oder weniger davon in dieselben Röhren bringen, je nachdem man sie mittelst der Polardrähte mehr oder weniger zusammenpreßt. Dadurch kann man auch die Stärke der Pole, mithin die Empfindlichkeit des Instruments nach Belieben herstellen, und es lassen sich bei den angegebenen Dimensionen die Pole leicht so stark machen, daß ein dazwischen hängender Stanniolstreifen sich längere Zeit zwischen denselben als Pendel hin und her bewegt, was natürlich für den Gebrauch des Instruments als Elektrometer nicht sein darf. Doch ist es gut, dieser Gränze selbst für das Goldblatt möglichst nahe zu rücken, wenn man ein sehr empfindliches Instrument braucht.

Man hat bei diesem Instrumente auch statt einer getheilten eine ungetheilte liegende Säule angewendet und die beiden Polardrähte gegen die

Mitte geführt. Diese Construction hat das Unbequeme, daß man entweder ein eigens geformtes Glas haben, oder ein solches aus Glasplatten zusammensetzen muß; Fig. 303 und 304 zeigen ein solches Instrument.

Fig. 303.

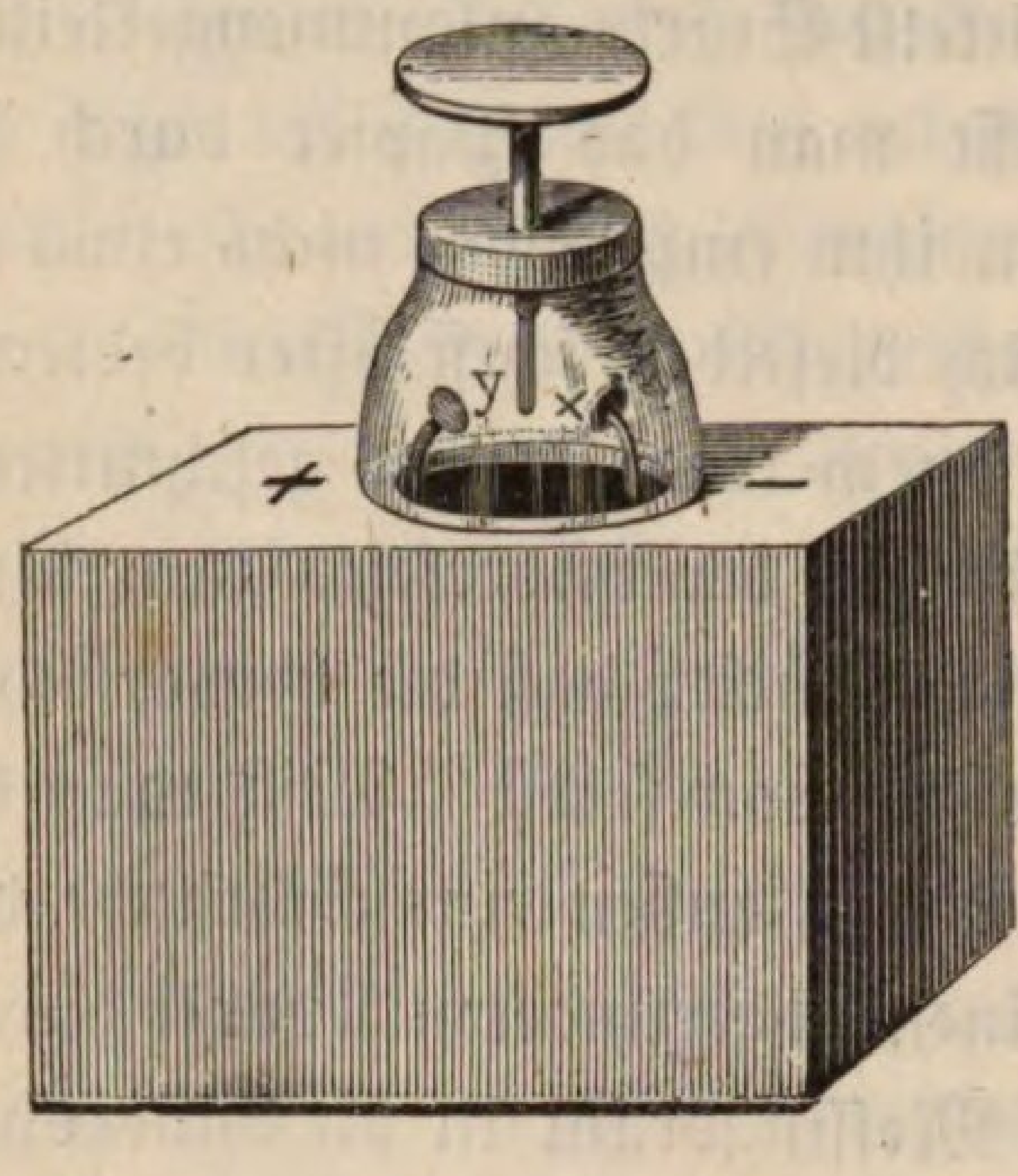
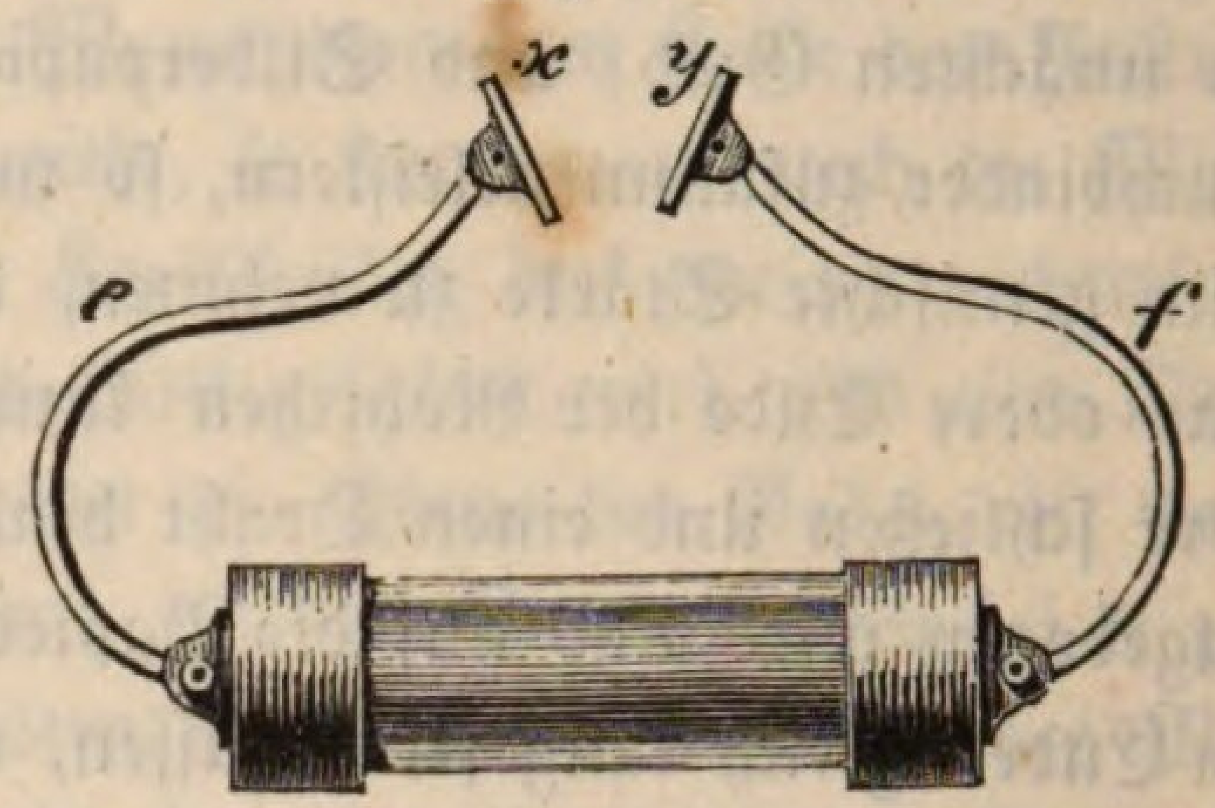


Fig. 304.



Diese Construction gewährt aber allerdings den Vortheil, daß die Polardrähte *e*, *f* länger sind; werden dieselben nun federnd gemacht, so kann man durch von Außen angebrachte und mittelst eines aufgekitteten Glasstückchens auf die Drähte wirkende Schrauben die Entfernung der Platten, und dadurch die Empfindlichkeit des Instruments nach Belieben ändern.

205 Wenn man unterhalb der obern hölzernen Fassung an dem Coulomb'schen Elektroskop, Fig. 291, eine Kreistheilung auf die Glasröhre klebt und dann statt des Schelllackhebels mit dem Seidenfaden einen solchen mit einem sehr feinen Silberdrahte anwendet, so kann man auf gleiche Weise auch eine, wenn auch nicht sehr vollkommene Coulomb'sche Drehwage zu Stande bringen, an welcher die Torsion des Fadens durch Umdrehen der hölzernen Fassung bewirkt wird, welche zu diesem Zwecke eine Marke an der Stelle trägt, welche mit der Richtung des Schelllackhebels übereinstimmt, wenn die Torsion des Fadens *o* ist. Das *o* der oberen Theilung muß auch mit dem der unteren zusammenfallen und das Rauschgoldscheibchen bei dieser stehen, wenn das Zeichen an der obern Fassung auf *o* steht. Bei der Drehwage ist es gut, auf der dem Metallscheibchen gegenüberliegenden Seite des Schelllackhebels eine Papierscheibe als Gegengewicht anzubringen, da diese als Windfahne dient und der Hebel dadurch eher zur Ruhe kommt. Auch die größere Holzfassung darf nicht eingekittet sein, damit man in das Instrument ein Schälchen mit etwas geglühtem Chlorcalcium stellen kann. Jedenfalls muß vor dem Gebrauche auch das Glas und die Glasröhre mit einem wollenen Lappen sorgfältig getrocknet werden, was übrigens für alle Elektrometer gleichmäßig gilt. Vor einem zahlreichen Auditorium aber die Versuche mit der Drehwage zu machen, dürfte nicht leicht angehen, da

die Luft in einem mit vielen Menschen angefüllten Zimmer bald zu feucht wird, als daß die Versuche übereinstimmende Resultate geben könnten.

Will man einem Goldblatt-, Strohhalm- oder einem Dallmann'schen Elektrometer eine Ladung mittheilen, um dann die Einwirkung eines genäherten Körpers zu beurtheilen, so geschieht dieses immer am besten durch Vertheilung. Man berührt den Knopf des Elektrometers ableitend, während man die geriebene Glas- oder Siegellackstange nähert, und entfernt den Finger wieder bevor der elektrische Körper entfernt wird. Durch wirkliche Berührung Elektricität mitzutheilen, geht meistens nicht gut. Ist der Körper stark elektrisch, so wirkt er oft in der Entfernung schon zu stark auf das Elektrometer, und ist er nur schwach elektrisch, so giebt er als schlechter Leiter einem Knopfe beinahe keine Elektricität ab. 206

Das Probescheibchen. Wenn man die Stärke der Elektricität eines Körpers untersuchen will, der selbst zu stark elektrisch ist, als daß er dem Elektrometer genähert werden könnte, oder wenn man die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters untersuchen will, so bedient man sich dazu des Probescheibchens. Es ist dieses ein Scheibchen aus dünnem Bleche, Rauschgold oder Goldpapier von einem halben Zolle Durchmesser, Fig. 305, welches in seiner Mitte an ein dünnes gut isolirendes und noch mit Siegellack gefirnißtes Glasstäbchen von nur etwa einer Linie Dicke angekittet ist; noch besser ist ein Schellackstäbchen von gleicher Dicke, die Länge muß etwa 4 — 6 Zolle betragen. Mit diesem Scheibchen berührt man den zu prüfenden Körper und theilt die dem Scheibchen mitgetheilte Elektricität dann dem vorher durch den Finger entladenen Knopfe des Elektrometers mit. Sollte die Elektricität zu schwach sein, so kann man die Mittheilung eine bestimmte Anzahl Male wiederholen. 207

Fig. 305.



Die Elektrisirmaschine. Die Elektrisirmaschine ist einer der nothwendigsten Apparate; sie bietet aber zugleich das Eigenthümliche, daß sie ebensowohl in Bezug auf ihren Bau, als in Bezug auf ihre Größe die mannigfaltigsten Abwechselungen zuläßt. Was nun ihre Größe betrifft, so bestimmt diese unter sonst gleichen Umständen die Funkenlänge, und es läßt sich nicht leugnen, daß man alle theoretisch wichtigen Erscheinungen mit einer Maschine von $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Zoll langen Funken ebensowohl nachweisen könne, als bei 8 — 12zölligen Funken, indem es am Ende einerlei ist, ob z. B. ein einziges Blatt Papier oder ein ganzes Pack Kartenblätter durchbohrt wird. Allein so abstract kann man die Sache in der Schule nicht immer ansehen, und gerade die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ist es sehr oft, welche die Aufmerksamkeit der Schüler fesselt und zur Erläuterung der Theorie beiträgt. Eben so wenig als der Schule, ist 208

dem Liebhaber physikalischer Versuche mit jedem Minimum von Wirkung gedient. Dagegen aber muß auch jeder überflüssige Aufwand vermieden werden, und unter dieser Rücksicht läßt sich behaupten, daß eine Elektrisirmaschine, welche an ihrem Conductor ein- bis zweizöllige Funken gibt, für alle Zwecke ausreiche, wenn es sich nicht gerade um Untersuchungen handelt, wie van Marum sie anstellte.

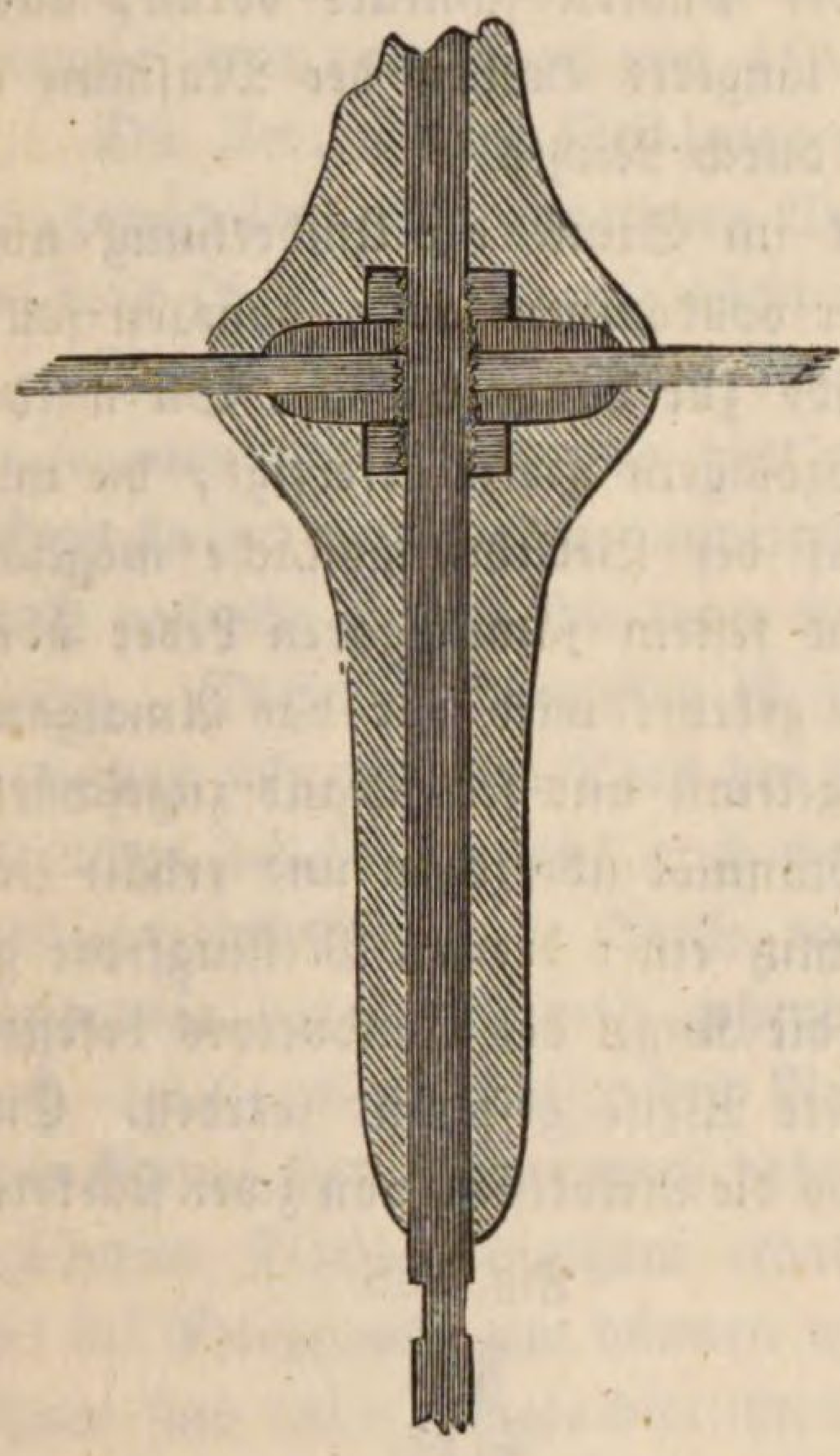
Was den Bau der Maschine betrifft, so bestimmt er allerdings mit die Funkenlänge, und es mag hier im Allgemeinen bemerkt werden, daß eine Scheibenmaschine, deren Scheibe 15—18 Zoll Durchmesser hat und nicht reichliche zweizöllige Funken gibt, als schlecht im Bau oder im Materiale angesehen werden muß. Ist eine Maschine aber für den Unterricht bestimmt, so muß noch darauf gesehen werden, daß sie auch negative Electricität gibt, und zwar, wo möglich, in gleicher Stärke mit der positiven. Ob sie eine Scheiben- oder eine Cylindermaschine sei, ist gleichgültig; Cylindermaschinen können bei gleicher Wirkung etwas wohlfeiler geliefert werden, als Scheibenmaschinen, namentlich wenn es sich nicht um größere, als 1—2 Zoll lange Funken handelt.

Die Frage, ob man es unternehmen soll, selbst eine Elektrisirmaschine zu bauen, oder ob man eine fertige kaufen soll, ist für den Lehrer eine andere als für den Liebhaber. Ersterer muß entweder den ganzen Apparat neu einrichten, und dann ist eine Elektrisirmaschine einer der zuerst anzuschaffenden Gegenstände, und an das Selbstmachen also noch nicht zu denken, oder der Lehrer trifft schon eine Maschine an, die nur nicht eine solche Wirkung hat, wie es nach der Größe sein könnte, und es müssen nur Verbesserungen angebracht werden. Der Liebhaber wird sich gern seine Maschine selbst construiren, für beides sollen im Folgenden die Grundsätze entwickelt werden. Bestellt man eine Maschine, so muß man sich ausbedingen, daß dieselbe für positive und negative Elektricität brauchbar sei und im Winter im geheizten Zimmer so und so lange Funken gebe.

209 **Von dem Reiber.** Bei Scheibenmaschinen besteht dieser gewöhnlich aus Spiegelglas, und man bekommt solche Scheiben schon abgerundet und gebohrt aus den Spiegelfabriken; an eine solche muß man sich daher durch einen Spiegelhändler die Adresse verschaffen, wenn man eine neue Scheibe braucht. Aus Tafelglasfabriken bekommt man ebenfalls fertige Scheiben; da dieselben aber nie gehörig eben sind, so muß für besonders nachgiebige Reibzeuge gesorgt werden; zu empfehlen sind aber solche Scheiben nicht. Die Axe wird gewöhnlich von Eisen gemacht, sie erhält in der Mitte ein Gewinde und die Scheibe wird durch zwei größere Metallplatten, unter die man noch Leder legt, mittelst zweier Schrauben an der Axe befestigt. Die Axe muß bei kleineren Scheiben beinahe den Durchmesser der Scheiben zur Länge haben, und erhält vom Lager bis zur Scheibe

ein stark mit Siegellack gefirnißtes hölzernes Futter, wie Fig. 306 im Durchschnitte zeigt. Da die Oeffnung in der Scheibe immer etwas größer ist, als die Axe, so läßt es sich leicht erreichen, daß die Scheibe mit der Axe concentrisch wird, wenn man die Schrauben zuerst nur schwach anzieht. Gläserne Axen sind zwar sehr gut, erfordern aber eine sehr sorgfältige Arbeit und ihre Anfertigung bleibt besser dem Mechanikus überlassen.

Fig. 306.



Die Lager für die abgedrehten Zapfen werden, wie alle Zapfenlager, aus zwei durch Schrauben gegen einander anziehbaren Metallstücken — Kanonenmetall — verfertigt und kommen am besten auf den überall wohlabgerundeten hölzernen Kopf einer gläsernen Säule zu liegen. Die Kurbel erhält ebenfalls einen Arm von Glas.

Die Isolirung der Zapfenlager ist an sich nicht nothwendig, da jedoch die Elektricität von den Auffangarmen des Conductors, oder von den Reibkissen gerne gegen eine nicht isolirte Axe abströmt, wovon man sich im Dunkeln leicht überzeugen kann, so wird die Wirkung durch das Isoliren bedeutend erhöht.

Bei Cylinder-Maschinen wird die Axe durch den Cylinder durchgesteckt; sie erhält an beiden Enden Schrauben und, statt der Platten, Kappen von Holz oder Metall, welche die Hälse des Cylinders umfassen. Gewöhnlich muß man diese Kappen etwas weiter lassen, und die Hälse in dieselben einkitten, um das Rundlaufen des Cylinders zu erreichen, was übrigens gewöhnlich doch nicht vollständig erreicht werden kann.

Die Reibzeuge. Bei Scheibenmaschinen kann man entweder nur 210
ein oder zwei Paare von Reibzeugen anbringen. Die Erfahrung scheint in dieser Beziehung festgestellt zu haben, daß zwei Paare von Reibzeugen zwar die Menge der frei werdenden Elektricität vermehren, daß aber nur bei Scheiben von mehr als 24 — 30 Zollen Durchmesser durch zwei Paare die Funkenlänge nicht vermindert werde.

Da aber der eigentliche Zweck der Elektrisirmaschine im Hervorbringen der möglichst hohen Spannung der Elektricität beruht, so sollte an allen Maschinen unter den angegebenen Dimensionen immer nur ein Paar

Reibzeuge angebracht werden. Beim Laden der Flaschen — vorausgesetzt, daß es sich auch hier nicht um das Laden bis auf hohe Spannung handelt — kommt man allerdings mit zwei Paaren schneller voran, allein dieser Nachtheil läßt sich dann durch längeres Drehen der Maschine ersetzen, die mangelnde Funkenlänge aber durch Nichts.

Die Fläche der Reibzeuge braucht im Sinne der Umdrehung nicht breit zu sein, 1 — $1\frac{1}{2}$ Zolle reichen hier vollkommen aus; dagegen sollen sie etwa $\frac{2}{3}$ des Halbmessers der Scheibe zur Länge haben. Sie werden am besten aus Brettchen von etwa halbzölligem Holze gefertigt, die man auf ihre Ecken wohl abrundet und auf der Berührungsfläche möglichst eben hobelt. Die Brettchen werden mit festem sämischgaren Leder überzogen, wobei die Fleischseite nach außen gekehrt wird für das Amalgam; das Leder wird nur an den Seiten angeleimt und sein Rand zugeschärft. Der Rücken der Brettchen wird mit Stanniol überzogen und erhält zwei Knöpfe, mittelst welcher sie in den Schlitz einer breiten Messingfeder geschoben werden können; letztere ist an die Kugel des Conductors befestigt und kann auf die in Fig. 307 gezeichnete Weise gespannt werden. Eine andere Befestigungsart zeigt Fig. 308, wo die Reibkissen von zwei stärkeren

Fig. 307.

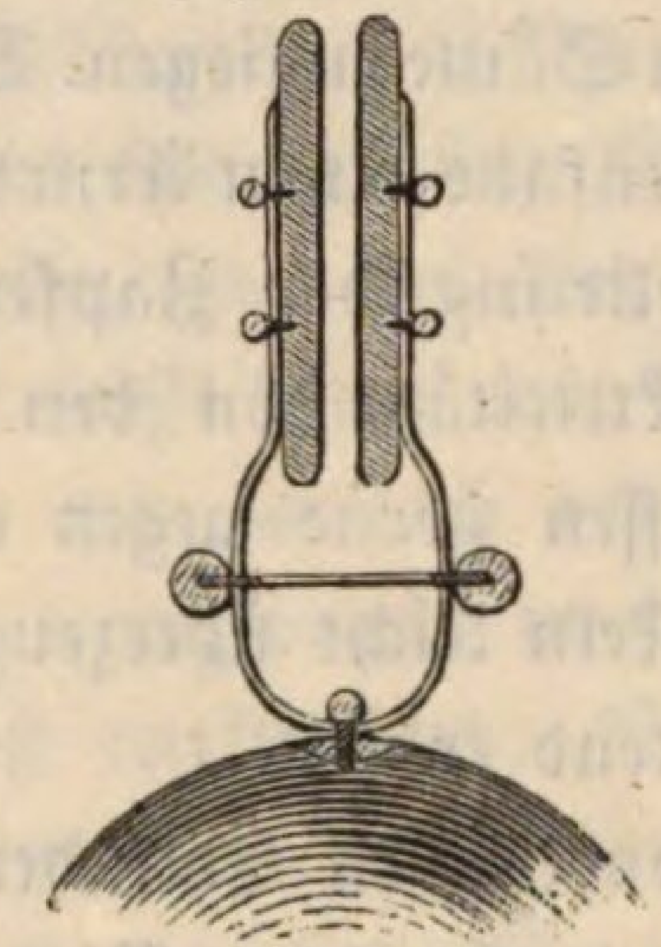
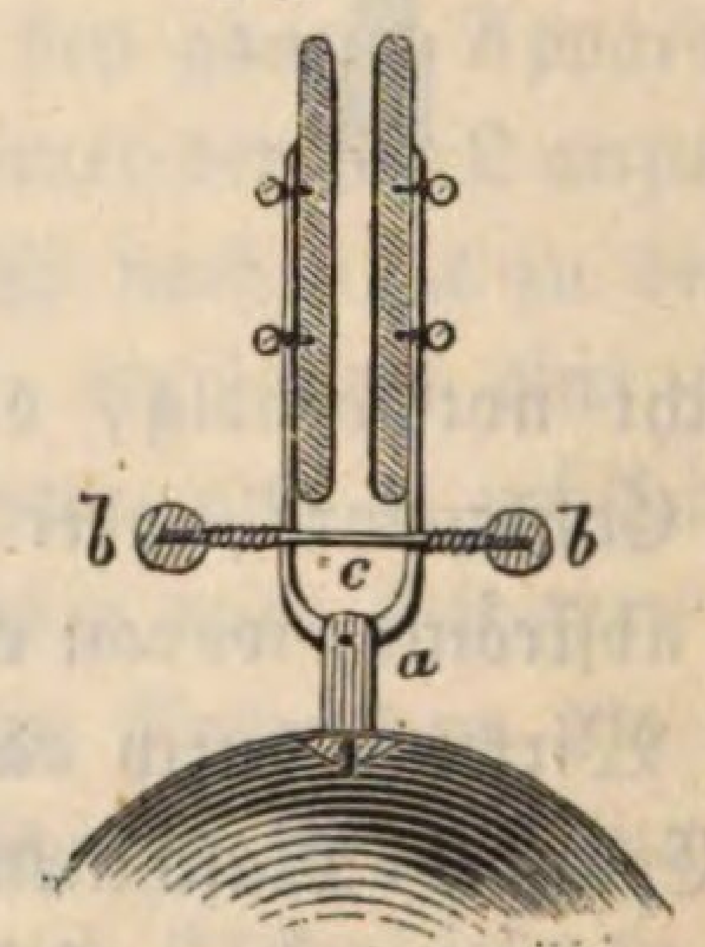


Fig. 308.



bei *a* durch ein Gelenk unter sich und mit einem vom Conductor der Reibzeuge kommenden Zapfen verbundenen Messingstäben getragen werden, welche breit geschlagen sind. Die Spannung wird hier durch Spiralfedern bewirkt, welche zwischen die kugelförmigen Schraubenmuttern *bb* und die Messingstäbe um den Draht *c* gelegt sind. Dieser Draht ist in der Mitte dicker, als für die Schraube erforderlich, und gegen diese hin viereckig gefeilt, damit er sich in der ebenfalls viereckigen Oeffnung der Stäbe nicht drehen kann. Letzteres gilt aber auch für die in Fig. 307 abgebildete Befestigung. Wie man übrigens auch die Reibzeuge befestigen mag, immer muß ein Paar derselben eine gemeinsame Spannung haben, damit sie etwaigen Ungleichheiten der Scheibe um so leichter nachgeben können.

Die Reibzeuge werden an eine isolirte Kugel von Messing befestigt; sollte letzteres wegen der Größe der Kugel, und diese hängt von ästhetischen

Verhältnissen ab, zu theuer werden, so kann man statt derselben eine hölzerne Kugel nehmen und die Reibzeuge an einen Stab von Messing befestigen, welcher durch die Mitte der hölzernen Kugel durchgeht und anderentheils in eine Kugel von 1 — 2 Zoll Durchmesser endigt.

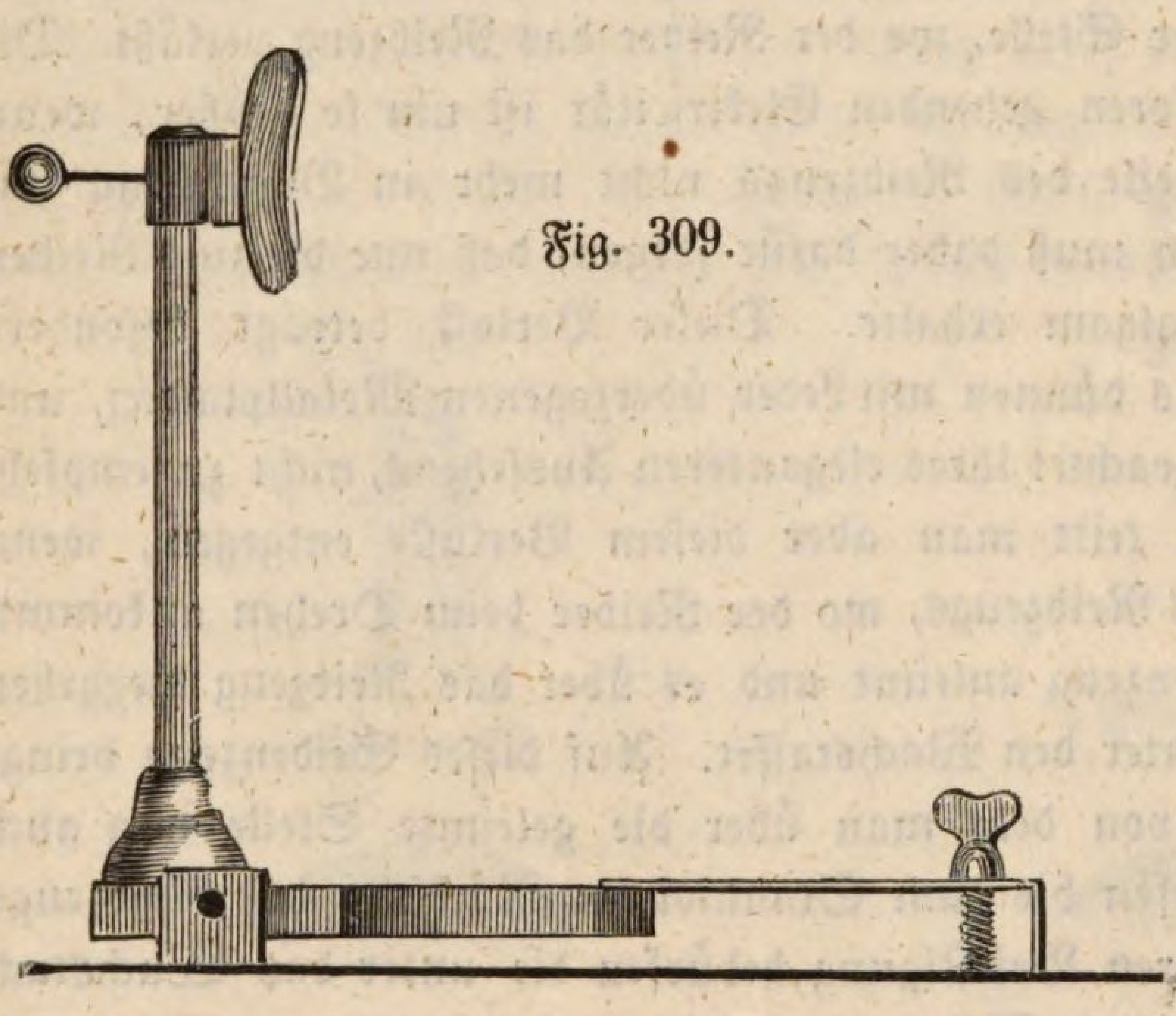
Die Art, wie die Reibzeuge an einer Maschine angebracht sind, läßt sich gewöhnlich ohne gänzlichen Umbau nicht ändern; dagegen kann man meistens schlechte Reibzeuge leicht mit besser construirten auswechseln.

Der elektrische Theil des Reibers muß vom Reibzeuge an bis gegen die sogenannten Saugarme hin mit Wachstaffet bedeckt sein. Man befestigt diesen gewöhnlich unmittelbar am Reibzeuge und unterstützt ihn durch passende Träger, die man auf den Säulen anbringt, welche die Axe tragen. Dieser Wachstaffet ist jedoch noch nicht im Stande zu verhindern, daß sich nicht ein Theil der positiven Elektricität des Reibers mit der negativen des Reibzeugs, auch wenn dieses nicht isolirt ist, vereinige; es geschieht dieses an jener Stelle, wo der Reiber das Reibzeug verläßt. Die Quantität der so verloren gehenden Elektricität ist um so größer, wenn noch amalgamirte Theile des Reibzeugs nicht mehr in Berührung mit dem Reiber sind. Man muß daher dafür sorgen, daß nur die zum Reiben bestimmte Fläche Amalgam erhalte. Dieser Verlust beträgt besonders viel bei Reibzeugen aus dünnen mit Leder überzogenen Metallplatten, und letztere sind daher, ungeachtet ihres eleganteren Aussehens, nicht zu empfehlen. Am wirksamsten tritt man aber diesem Verluste entgegen, wenn man an jene Seite des Reibzeugs, wo der Reiber beim Drehen ankommt, ein Stück dickes Seidenzeug anleimt und es über das Reibzeug weggehen läßt, bis einige Zoll unter den Wachstaffet. Auf dieses Seidenzeug bringt man das Amalgam, von dem man über die geleimte Stelle weg auch einen Verbindungsstreifen bis zum Stanniol der Rückseite des Reibzeugs aufträgt. Einer weiteren Befestigung bedürfen die unter das Wachstuch hinaufragenden Lappen des Seidenzeugs nicht, sie werden von dem elektrischen Reiber schon angezogen. Es ist dieses eine beinahe überall leicht anzubringende Verbesserung einer Elektrisirmaschine, und gewährt überraschende Erhöhung der Wirkung. Wenn das Seidenzeug nach einiger Zeit durch fortgeführtes Amalgam verunreinigt ist, so reibt man es mit einem wollenen Lappen ab, oder leimt frische Stücke an. Trotz aller dieser Vorsichten wird man doch von manchen Maschinen die Elektricität des Reibzeugs stärker finden, als jene des Conductors, was von dem unterwegs stattfindenden Verluste herrührt.

Das Verfahren beim Amalgamiren der Reibzeuge wurde schon oben angegeben; die Erneuerung des Amalgams muß gewöhnlich geschehen, wenn die Maschine längere Zeit nicht gebraucht wurde und man doch ihre ganze Kraft in Anspruch nehmen will.

Cylindermaschinen erhalten immer nur ein Reibzeug, dessen Länge etwa $3/4$ von der Länge des Cylinders beträgt, dessen Breite aber auch nur etwa 2 Zoll betragen, jedenfalls nur bei kleinen Cylindern $1/8$ des Umfangs erreichen darf. Es wird aus einem nach dem Cylinder ausgehöhlten Brettchen gemacht, welches jedoch stets eine Polsterung aus Pferdehaaren erhält, um sich besser den Ungleichheiten des Cylinders anzuschmiegen. Auch hier muß eine Wachstuchdecke vom Reibzeug bis zum Conductor reichen, und auch hier ist das oben beschriebene Seidenzeug, auf welches das Amalgam aufgetragen wird, von entschiedenem Vortheile.

Soll das Reibzeug hier isolirt sein, so müssen die Federn zwischen ein wohl abgerundetes Brettchen, welches von der Glassäule getragen wird, und das eigentliche Reibzeug gelegt werden; allein es ist hier nicht leicht eine veränderliche Spannung anzubringen.


Fig. 309.

Bei kleineren Maschinen kann man die Glassäule selbst auf ein bewegliches Fußbrett setzen und auf dieses eine Feder wirken lassen, um das Reibzeug gegen den Cylinder anzudrücken, wie Fig. 309 zeigt. Bei größeren Maschinen der Art isolirt man gewöhnlich das Reibzeug nicht, und dann ist es leicht, die erforderlichen Federn auf dem Gestell anzubringen.

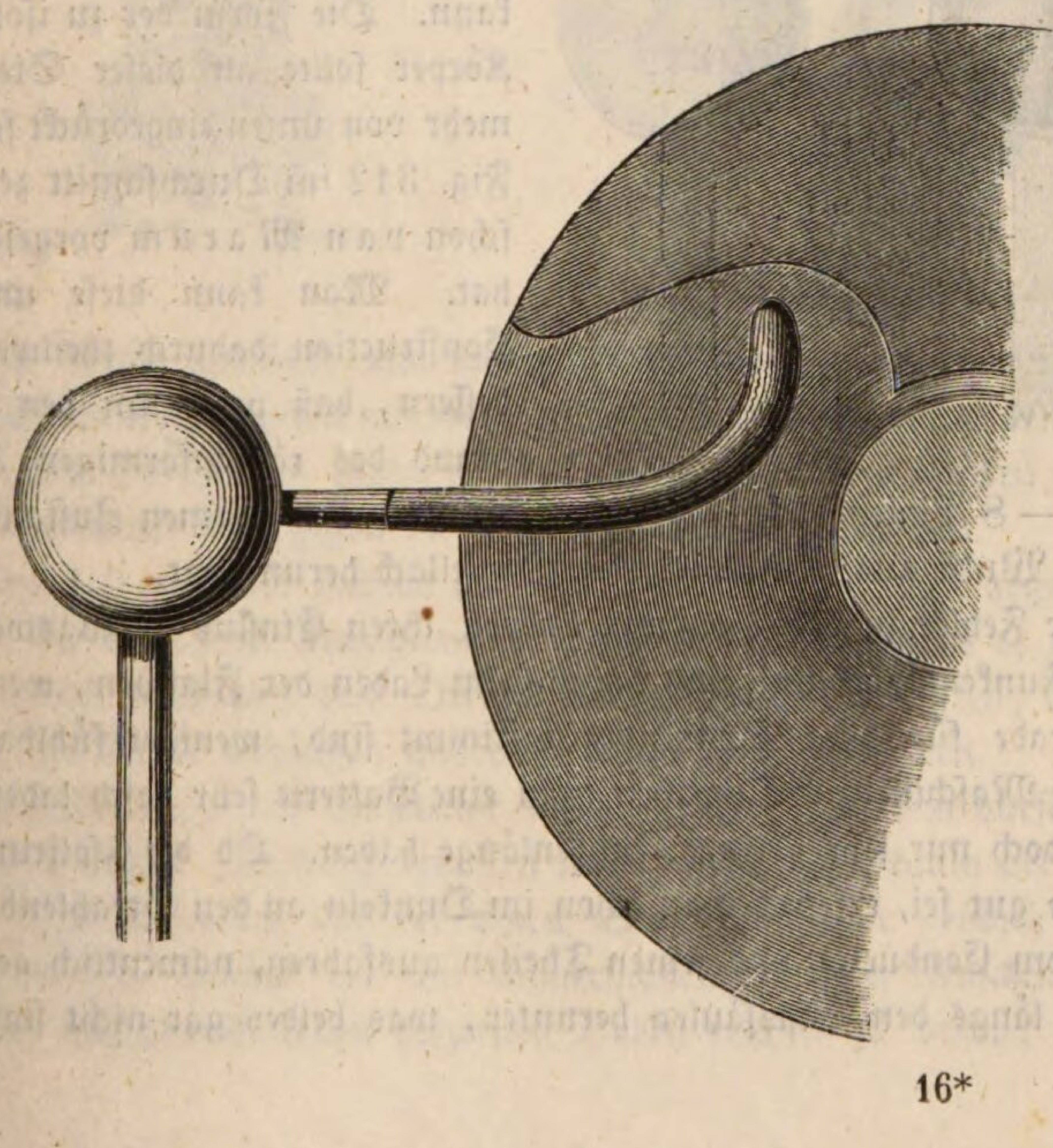
211 **Der Conductor.** Der Conductor besteht gewöhnlich an solchen Maschinen, wo er keine symmetrische Stellung mit dem Reibzeuge hat, aus einem kurzen cylindrischen in Halbkugeln endenden Körper von Metall, der 2—5 Zoll dick und etwa 10—20 Zoll lang ist, oder auch aus einer Kugel von 2—5 Zoll Durchmesser; letzteres ist dann immer der Fall, wenn er, wie bei den Scheibenmaschinen, dem Träger der Reibzeuge gegenüber steht, und folglich auch mit diesem von gleicher Größe gemacht wird. Gewöhnlich bekommt er auf der vom Reiber abgewendeten Seite noch einen 2—3 Zoll langen starken Messingdraht, der eine etwa einen Zoll dicke Kugel trägt. Ist der Träger der Reibzeuge eine hölzerne Kugel, so kann auch der Conductor von Holz sein und der Träger der Saugarme

geht dann nur mitten durch diese hölzerne Kugel und endigt in eine kleinere metallene, wie beim Reibzeuge.

Wenn der Conductor nur eine Kugel von Metall oder gar von Holz ist, so ist es sehr zweckmäßig, noch einen walzenförmigen Conductor auf abgesondertem Fuße zu haben, den man dann beliebig an das Reibzeug oder an den eigentlichen Conductor anstellen kann. Man läßt einen solchen Conductor beiderseits in einem 2 — 3 Zoll langen Messingdraht auslaufen, der eine einzöllige Kugel trägt. Die Wirkungen des einfachen Funkens sind bei einem solchen Conductor auffallend stärker.

Auf der Seite gegen den Reiber trägt der Conductor bei Scheibenmaschinen einen gabelförmigen, bei Cylindermaschinen einen ⊣förmigen Arm, welcher gegen den Reiber hin mit scharfen Spitzen versehen wird. Die Anwendung solcher Spitzen dürfte den nur abgerundeten Metallstücken wohl unbedingt vorzuziehen sein, und ebenso auch bei Scheibenmaschinen die Anwendung einer Gabel der nur einseitigen Anwendung eines Saugarmes. Die Stangen, welche diese Spitzen tragen, sollten wenigstens gegen die Enden hin mit einer dicken Lage von Schelllack oder Siegellack überzogen und nicht nur damit gefirnißt sein, um das Abströmen gegen die Axe möglichst zu verhüten. Anstatt die Saugspitzen in eine gerade metallene Gabel einzusetzen, ist es noch vortheilhafter, eine gekrümmte hölzerne anzuwenden, wie Fig. 310, und zu Saugspitzen Stecknadelspitzen

Fig. 310.



zu nehmen, die in einen mit Stanniol versehenen Falz gesteckt werden, der wieder mit Siegellack ausgeebnet wird. Wo dieser hölzerne Arm an den metallenen anstößt, wird der Stanniolstreifen mit diesem in sichere Berührung gebracht und der hölzerne Arm ganz mit Siegellacklösung angestrichen.

212 **Die Isolirung.** Um den Conductor, die Reibzeuge und die Zapfenlager zu isoliren, wendet man am besten Säulen aus grünem Glase an. Diese Säulen werden aber sehr theuer, da sie für eine Scheibe von 15--20 Zoll Durchmesser schon beinahe die gleiche Länge haben sollten und sowohl der Solidität als noch mehr des Ebenmaaßes wegen nicht zu dünne genommen werden können. Man wird daher oft genöthigt sein, statt der massiven Säulen starke Glasröhren anzuwenden; letztere bekommt man auch aus jeder Glashütte eher gerade und annährend gleich dick, als massive Säulen. Röhren thun vollkommen die gleichen Dienste wie Säulen, wenn man sie vor dem Einkitten innerhalb mit Schelllack firnißt und bei trockener Witterung im Winter einsetzt oder ein Stückchen Chlorcalcium hineinlegt.

Häufig haben die Conductoren für die Fassung der Säulen einen röhrenförmigen Ansatz, wie in Fig. 311, was sehr fehlerhaft ist und ein bedeutendes Abströmen längs der Glassäulen veranlaßt, wovon man sich im Dunkeln sehr leicht überzeugen kann. Die Form der zu isolirenden Körper sollte an dieser Stelle vielmehr von unten eingedrückt sein, wie Fig. 312 im Durchschnitt zeigt und schon van Marum vorgeschrieben hat. Man kann diese unrichtige Construction dadurch theilweise verbessern, daß man um den unteren Rand des röhrenförmigen Ansatzes einen 6—8 Linien dicken, zwischen Brettern im warmen Zustande glatt gerollten Wulst aus Schelllack oder Siegellack herum legt.

Fig. 311.

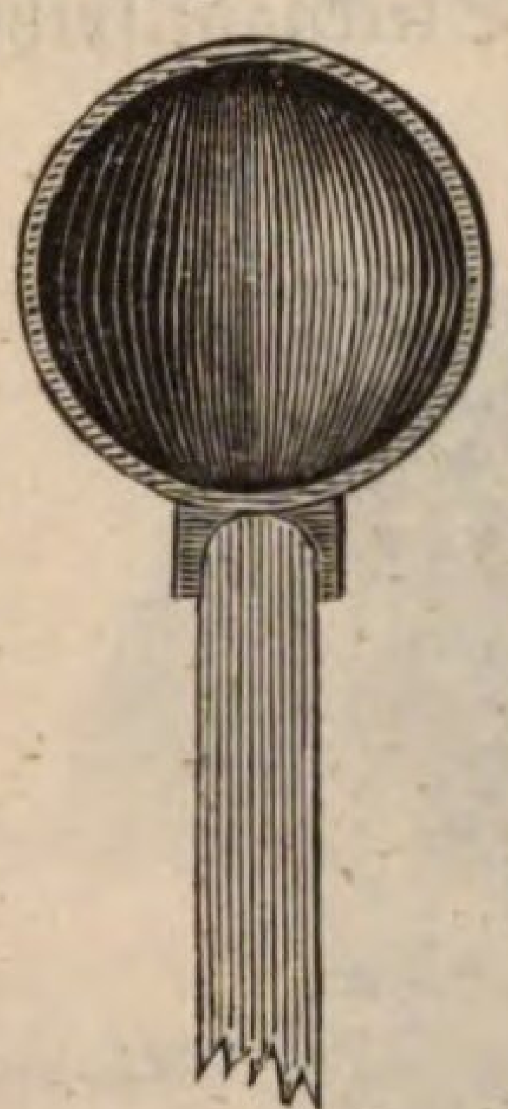
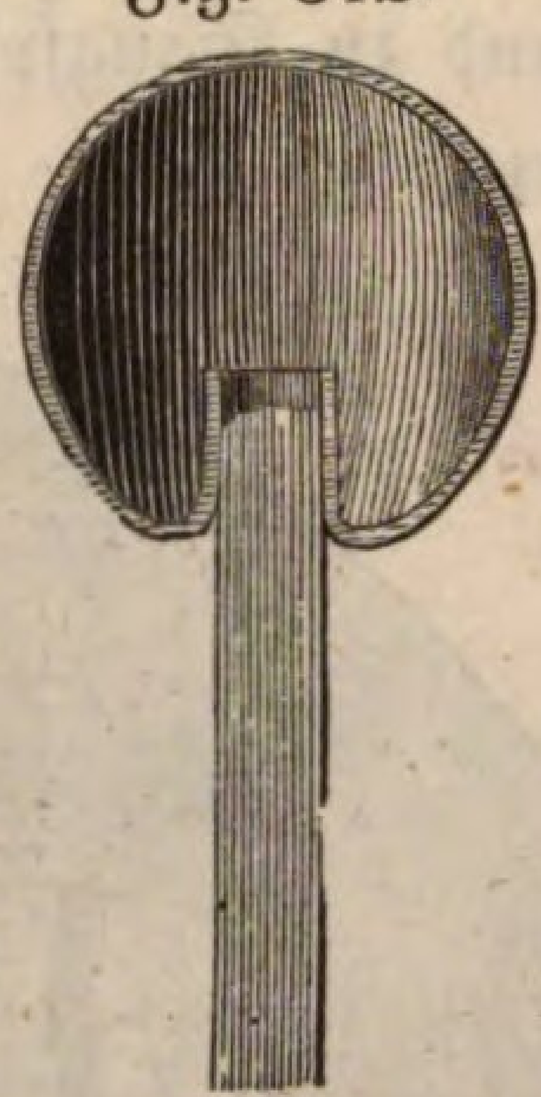


Fig. 312.



Alle Fehler in der Isolirung äußern ihren Einfluß vorzugsweise nur auf die Funkenlänge, und sind daher beim Laden der Flaschen, wenn diese nicht gerade für hohe Spannung bestimmt sind, weniger fühlbar. Es gibt viele Maschinen, mit welchen man eine Batterie sehr rasch laden kann, und die doch nur sehr geringe Funkenlänge haben. Ob die Isolirung einer Maschine gut sei, erkennt man schon im Dunkeln an den Strahlenbüscheln, welche vom Conductor und seinen Theilen ausfahren, namentlich gegen die Axe und längs den Glassäulen herunter, was beides gar nicht stattfinden

sollte; mehr noch aber ergibt sich dieses aus der Funkenlänge, im Vergleiche mit der Größe des Reibers.

Behandlung der Elektrisirmaschine. Wenn eine Elektrisirmaschine volle Kraft äußern soll, so muß man vorher dieselbe gehörig von Staub und dem etwa am Reiber anhängenden Amalgame reinigen, sowie die isolirenden Glassäulen durch wollene, wo möglich erwärmte Tücher abreiben. Daß aus anderen Rücksichten auch von Zeit zu Zeit die Zapfenlager gereinigt und mit frischem Oele versehen werden müssen, versteht sich von selbst. Das Erwärmen der ganzen Maschine leistet vorzügliche Dienste, und man stellt sie daher gerne im Winter in die Nähe des Ofens. Die vorzüglichste Wirkung soll man erhalten, wenn das Gebäude Luftheizung hat, und die Maschine vor die Einströmungsöffnung der warmen Luft gestellt wird. Es ist dieses um so begreiflicher, als man die Trockenheit dieser Luft sogar als eine Krankheitsursache für die Bewohner solcher Häuser ansieht, wo die Luftheizung durch Oefen bewirkt wird, die bis zum Glühen erhitzt werden. Man kann übrigens eine ähnliche Erwärmung auch für den Sommer erreichen, wenn man über eine Kohlpfanne *a*, Fig. 313, einen Mantel von Blech, Fig. 314, machen läßt, der oben in ein passend 213

Fig. 313.

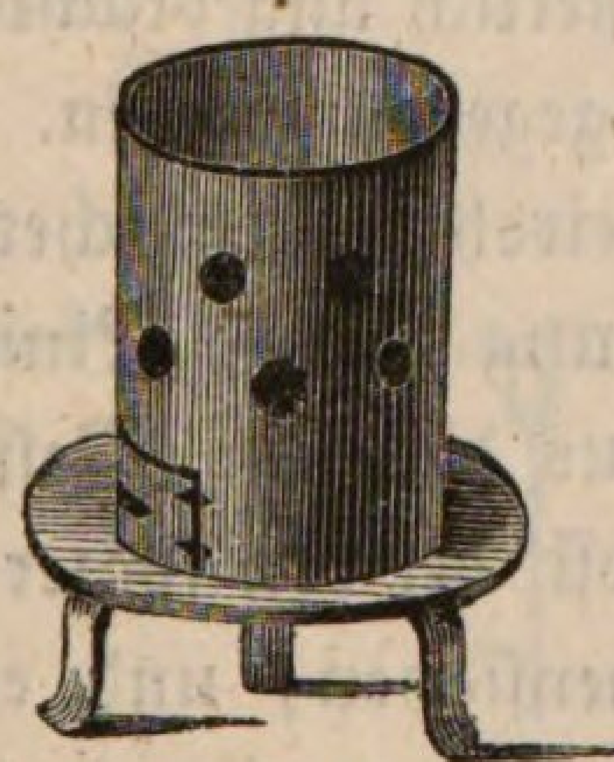


Fig. 314.



gekröpftes Rohr ausläuft und unten mit zahlreichen Löchern versehen ist. Man füllt das Kohlenbecken mit wohl ausgefeuerten Kohlen, setzt den Mantel darüber und richtet das Rohr so, daß die zwischen dem Becken und dem Mantel erwärmte Luft gegen die Elektrisirmaschine ausströmt.

Von Zeit zu Zeit müssen auch die Wachstaffet-Flügel abgenommen und von anhängendem Amalgame gereinigt werden; auch ist es gut, dieselben, bevor man mit dem Drehen anfängt, etwas zu lüften, da sie oft sehr fest am Glase anhängen und dann leicht zerrissen werden.

Daß Reibzeug und Conductor nicht zugleich isolirt sein dürfen, wenn man die gehörige Wirkung erhalten will, bedarf wohl kaum der Erwähnung. Die Ableitung auf der einen Seite muß aber gehörig gemacht werden, und es genügt bei nur einigermaßen kräftigen Maschinen nicht, eine Kette auf den trockenen hölzernen Boden reichen zu lassen; entweder

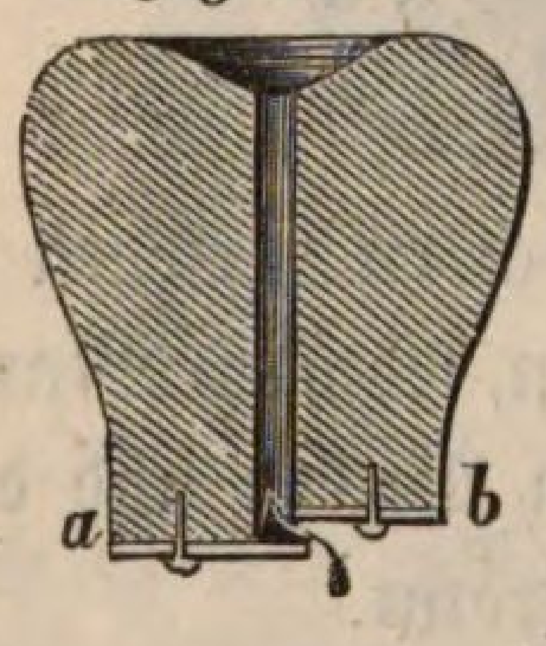
muß die Kette auf dem Boden ausgebreitet werden, oder man bringt sie mit anderen größeren metallenen Gegenständen in Verbindung.

Was die Schnelligkeit der Umdrehung betrifft, so hängt diese allerdings von der Größe des Reibers ab, indem es sich eigentlich nicht um die Zahl der Umdrehungen, sondern um die Schnelligkeit, mit welcher der Reiber am Reibzeug vorbeigeht, handelt. Es scheint nicht, als seien hier die Gränzen sehr enge gesteckt, und die Geschwindigkeit kann ziemlich groß werden, doch dürfte sie nicht mit Vortheil etwa über 10 Fuß gebracht werden und im Mittel 5 Fuß nicht überschreiten. Wenn zu langsam gedreht wird, so geht die Elektricität des Reibers unterwegs wieder verloren.

Bei Versuchen, wo man die ganze Kraft der Maschine in Anspruch nehmen muß, ist es zweckmäßig, sich vor dem Gebrauche auf die weiter unter bei der Lanne'schen Flasche beschriebene Art darüber zu versichern, in welchem Zustande die Maschine sich befinde, zu welchem Zwecke man jener Flasche einen Zettel beilegt, auf welchem bemerkt ist, bei wie viel Umdrehungen im günstigen Falle die Selbstentladung erfolgt, wenn die Kugeln einen gewissen Abstand haben.

214 **Die Dampfelektrisirmaschine.** Um die Wirkung eines solchen Apparates im Kleinen zu zeigen, dient jeder kleine Dampfkessel. Die ganz einfache Einrichtung eines solchen, nebst der äußerlich angebrachten Heizung, wird im Abschnitte von der Wärme näher angegeben werden. Man läßt den Dampf durch ein etwa 3 Fuß langes Bleirohr, in welches man einen Holzpfropf mit einfach durchgebohrter Oeffnung von ½ Linie Weite befestigt hat, gegen ein nicht isolirtes Gitter aus dünnem Messingdraht in etwa ein Fuß Entfernung ausströmen. Selbst bei den später zu beschreibenden ganz kleinen Dimensionen, und einem Ueberdruck von nur 3—4 Atmosphären gibt ein solcher Kessel reichlich kleine Funken. Die Wirkung wird noch erhöht, wenn man auf die innere Seite des Pfropfes zwei Messingplatten *a*, *b*, Fig. 315, so aufschraubt, daß der Dampf den Weg in der Richtung des Pfeiles zwischen denselben hindurch nehmen muß.

Fig 315.



215 **Der Isolirschemel.** Man verfertigt denselben aus einem 1½—2 Quadratfuß großen und 1 Zoll dicken Brette, dessen Ecken und Kanten wohl abgerundet werden, und das auf seinen vier Ecken noch eine Verdoppelung erhält. Die gläsernen Stützen müssen etwa 1 Fuß hoch und dürfen nicht wohl unter 1 Zoll dick sein. Solche Füße kommen schon etwas theurer und können ganz einfach durch vier Champagner Flaschen, zu 6 Kr. das Stück, ersetzt werden, die man, wie

Fig. 316.

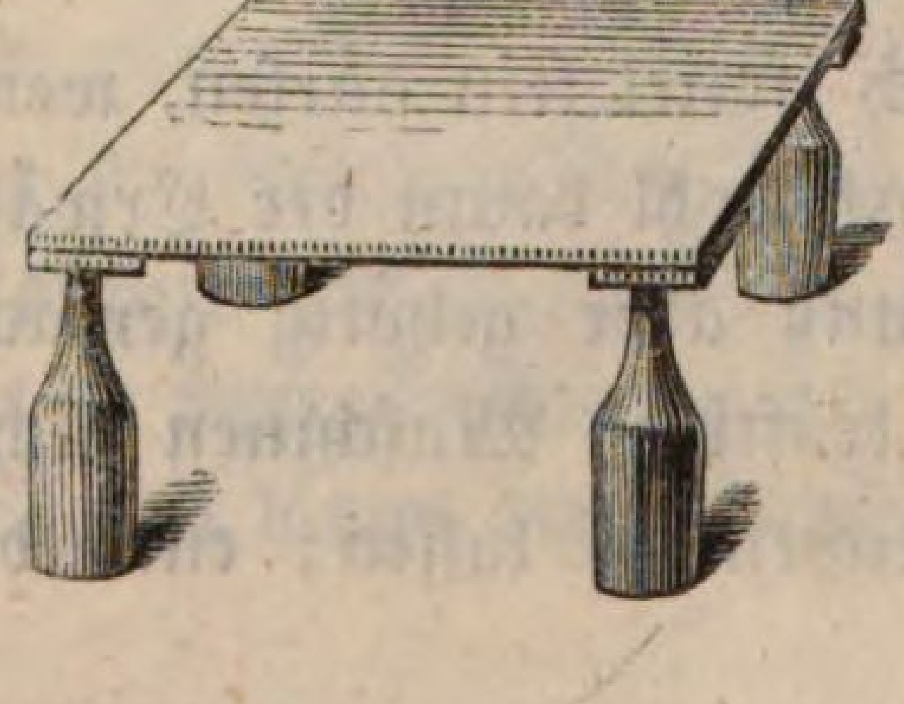


Fig. 316 (a. v. S.) zeigt, in die Verdoppelung einläßt und dort mit geringem Siegellack — Packsiegellack — fest kittet. Außer diesem größeren Isolirschemel bedarf man zu vielen Versuchen noch eines kleineren mit nur 4—5 Zoll hohen Füßen und 24—30 Quadratzoll Fläche. Beide werden gut gefirnißt.

Versuche mit der Elektrisirmaschine. Anziehung und Ab- 216
stoßung. 1) Die elektrische Spinne. An einem langen Seidenfaden hängt man eine Korkkugel, allenfalls auch mit ein paar spinnenfußartigen Ansätzen, dem Conductor gegenüber auf; auf die entgegengesetzte Seite hält man die flache Hand oder eine Metallplatte. Die Kugel wird anfangs vom Conductor angezogen, dann gegen die Hand abgestoßen, wieder angezogen u. s. w.

2) Das elektrische Glockenspiel. Am einfachsten erhält man ein solches aus zwei Uhrglocken, in deren Aufstecklöcher man Holzpfropfe paßt; durch diese Pfröpfchen steckt man einen Draht, der unten und oben knapp am Holze zum Ringe umgebogen wird, Fig. 317. Zwei solche Glocken werden an einem, wie in Fig. 318, gebogenen starken Drahte *a b c* aufgehängt, die eine an Seide, die andere an einem dünnen Drahte; zwischen beiden hängt an Seide ein metallener kleiner Klöpfel

Fig. 317.

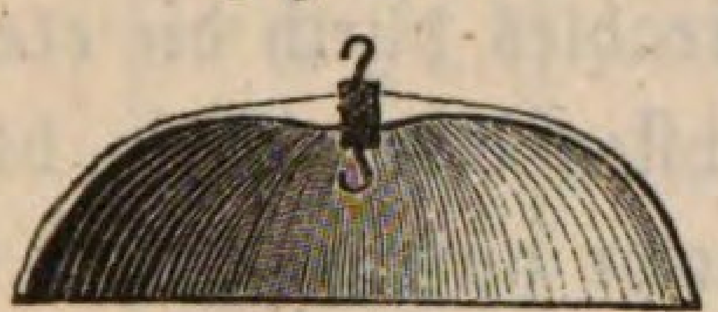


Fig. 318.

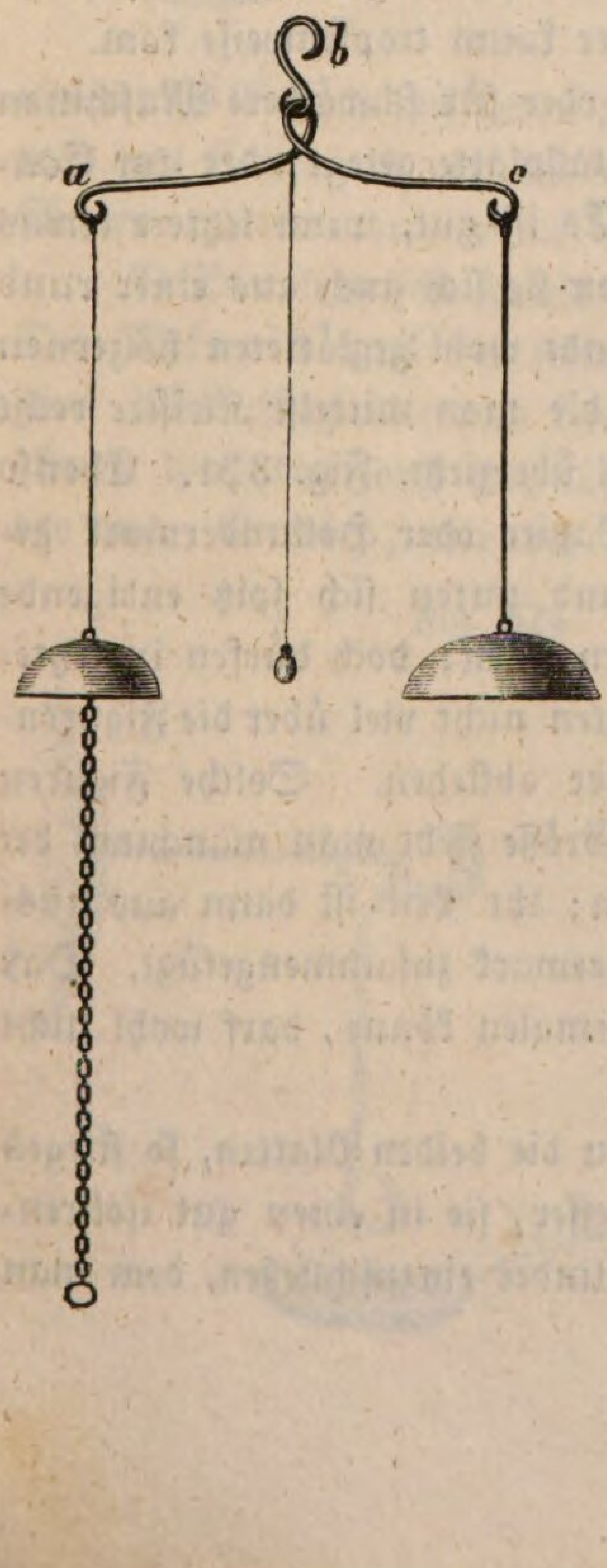
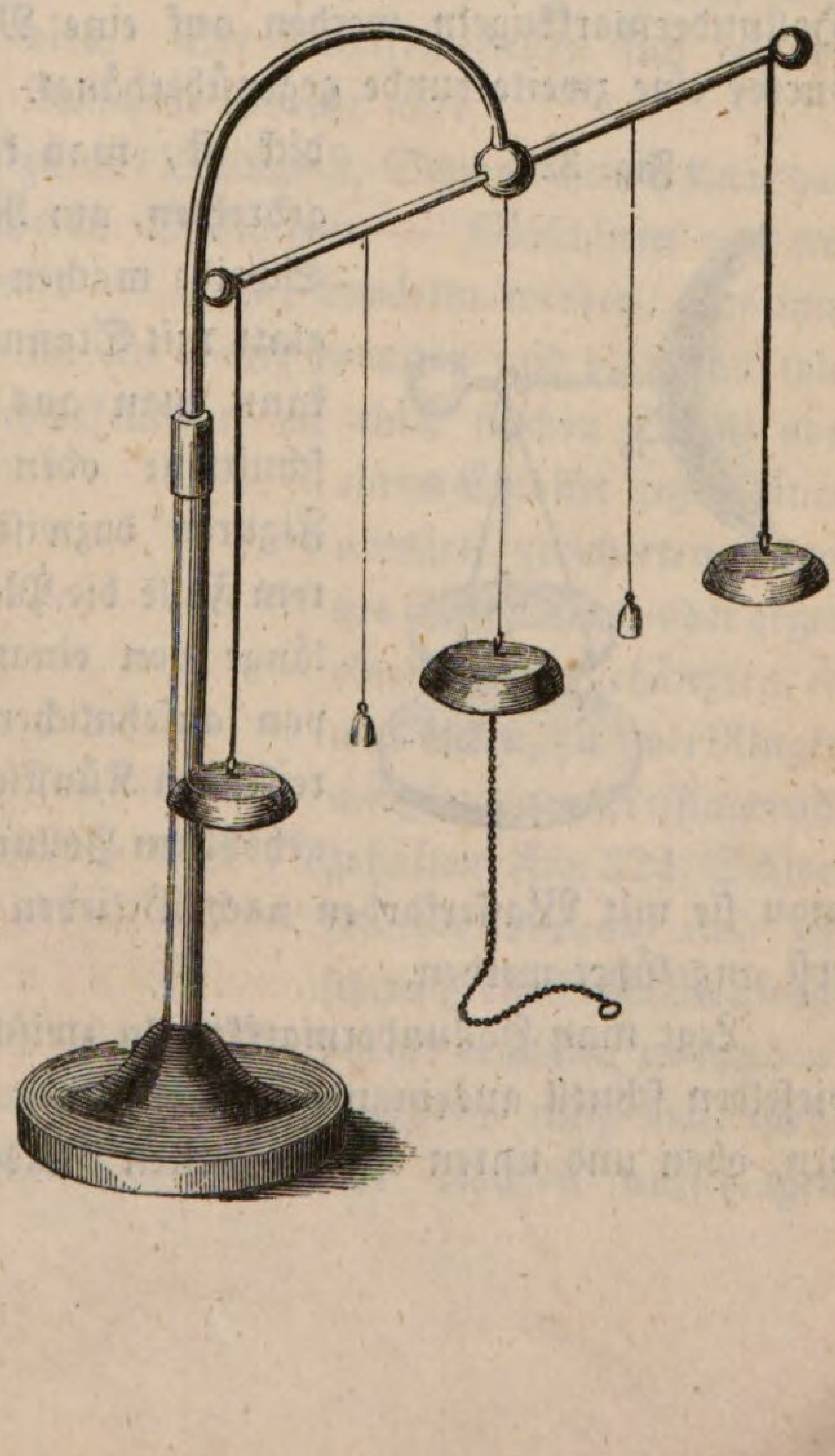


Fig. 319.



wie er sich aus jedem dickköpfigen Nagel machen läßt; die an Seide aufgehängte Glocke, bekommt eine Ableitung auf den Boden, und das Ganze wird durch den Haken bei *b* geradezu an den Conductor gehängt. Hat man mehr Mittel oder Zeit, so kann man das Glockenspiel auf einem besondern durch Glas isolirten Gestelle anbringen, wie in Fig. 319 (a. v. S.) und auch die Glöckchen abdrehen und firnissen. Daß man die Glöckchen, wenn man kann, zusammenstimmend wählt, versteht sich wohl von selbst.

3) Das elektrische Flugrad. Hiezu nimmt man das isolirte Stativchen, Fig. 289, welches für die elektrische Nadel bestimmt ist. Das Flugrad selbst besteht aus einem beiderseits fein ausgespitzten und S förmig gebogenen Messingdrahte, Fig. 320, in welchem man in der Mitte eine konische Vertiefung gebohrt hat, womit er auf die Nadel des Stativs gesetzt wird; diese Nadel wird sodann durch eine Kette mit dem Conductur der Elektrisirmaschine verbunden.

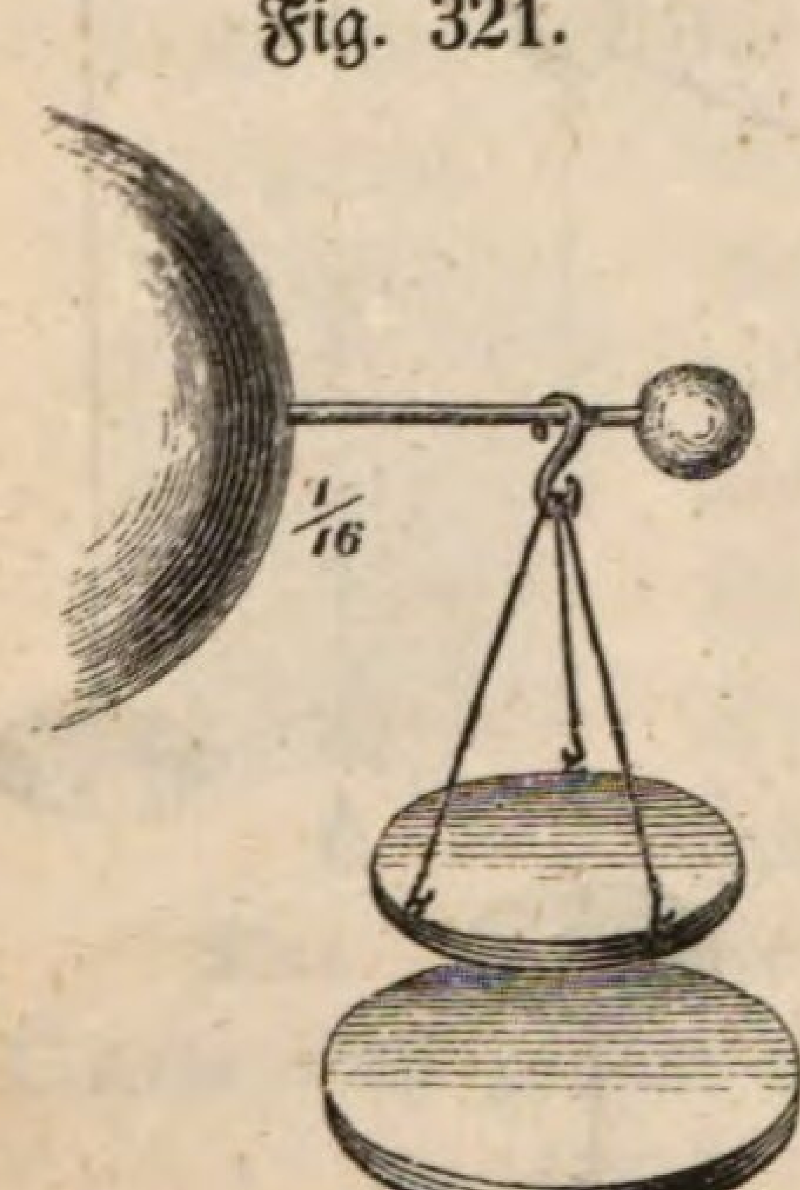
Fig. 320.



4) Die Ausbreitung eines Wasserstrahles durch die elektrische Abstoßung zeigt man am einfachsten durch einen blechernen Trichter, den man am Conductor aufhängt und in dessen Spitze man durch einen Kork ein Haarröhrchen einsteckt von etwa $1/_{10}$ Linie Oeffnung. Sobald die Maschine gedreht wird, fließt das Wasser rasch durch, wenn es auch vorher kaum tropfenweise kam.

5) Der Korkkugeltanz. Kork- oder für schwächere Maschinen Hollundermarkkugeln werden auf eine Metallplatte gelegt, der am Conductor eine zweite runde gegenüberhängt. Es ist gut, wenn letztere etwas dick ist, man kann sie sich auch aus einer rund gedrehten, am Rande wohl geglätteten hölzernen Scheibe machen, die man mittelst Kleister recht glatt mit Stanniol überzieht. Fig. 321. Ebenso kann man aus Papier oder Hollundermark geschnittene oben und unten sich spitz endigende Figuren dazwischen legen; doch dürfen in letzterem Falle die Platten nicht viel über die Figurenlänge von einander abstehen. Solche Figuren von ansehnlicher Größe sieht man manchmal bei reisenden Künstlern; ihr Leib ist dann aus ausgehöhltem Hollundermark zusammengefügt. Daß man sie mit Wasserfarben nach Belieben bemalen könne, darf wohl nicht erst angeführt werden.

Fig. 321.



Legt man Hollundermarkkugeln zwischen die beiden Platten, so fliegen dieselben schnell auseinander; es ist daher besser, sie in einen gut isolirenden, oben und unten offenen weiten Glascylinder einzuschließen, dem man

oben und unten einen Deckel von mit Stanniol überzogener Pappe gibt, auf welche man die Kette vom Conductor herabhängen läßt. Fig. 322.

Fig. 322.

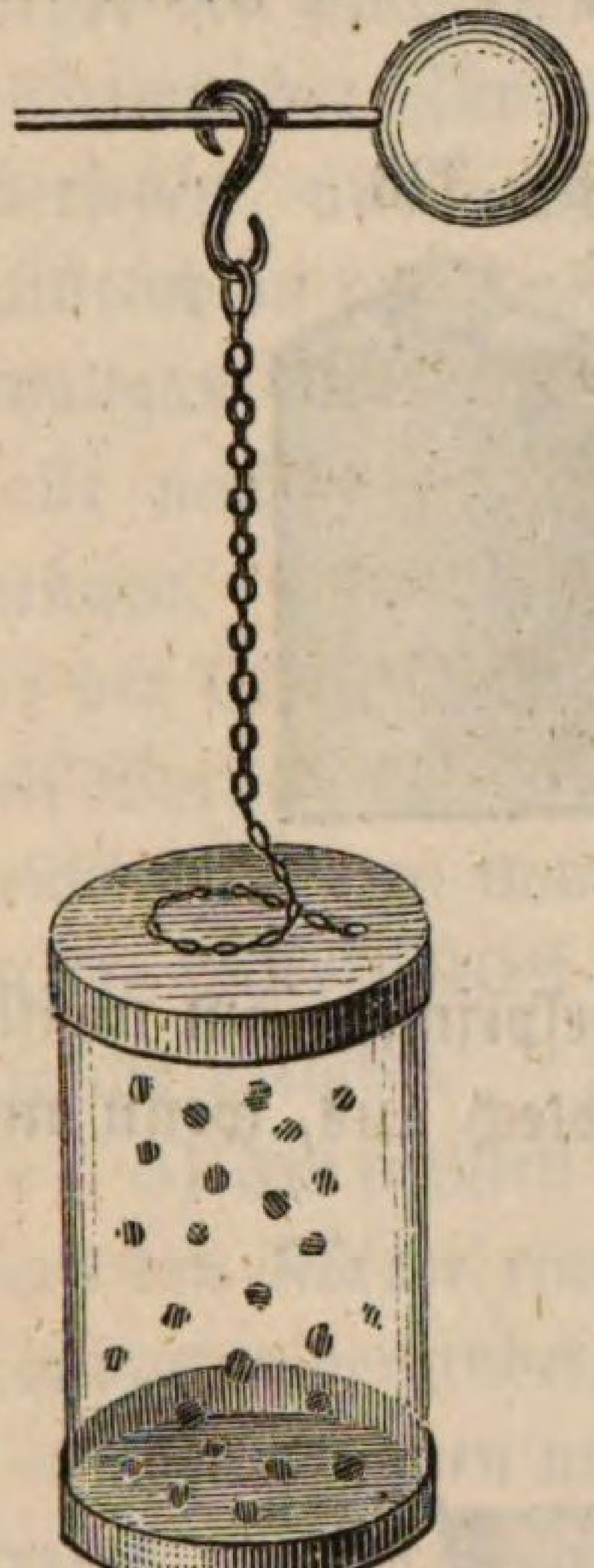


Fig. 323.

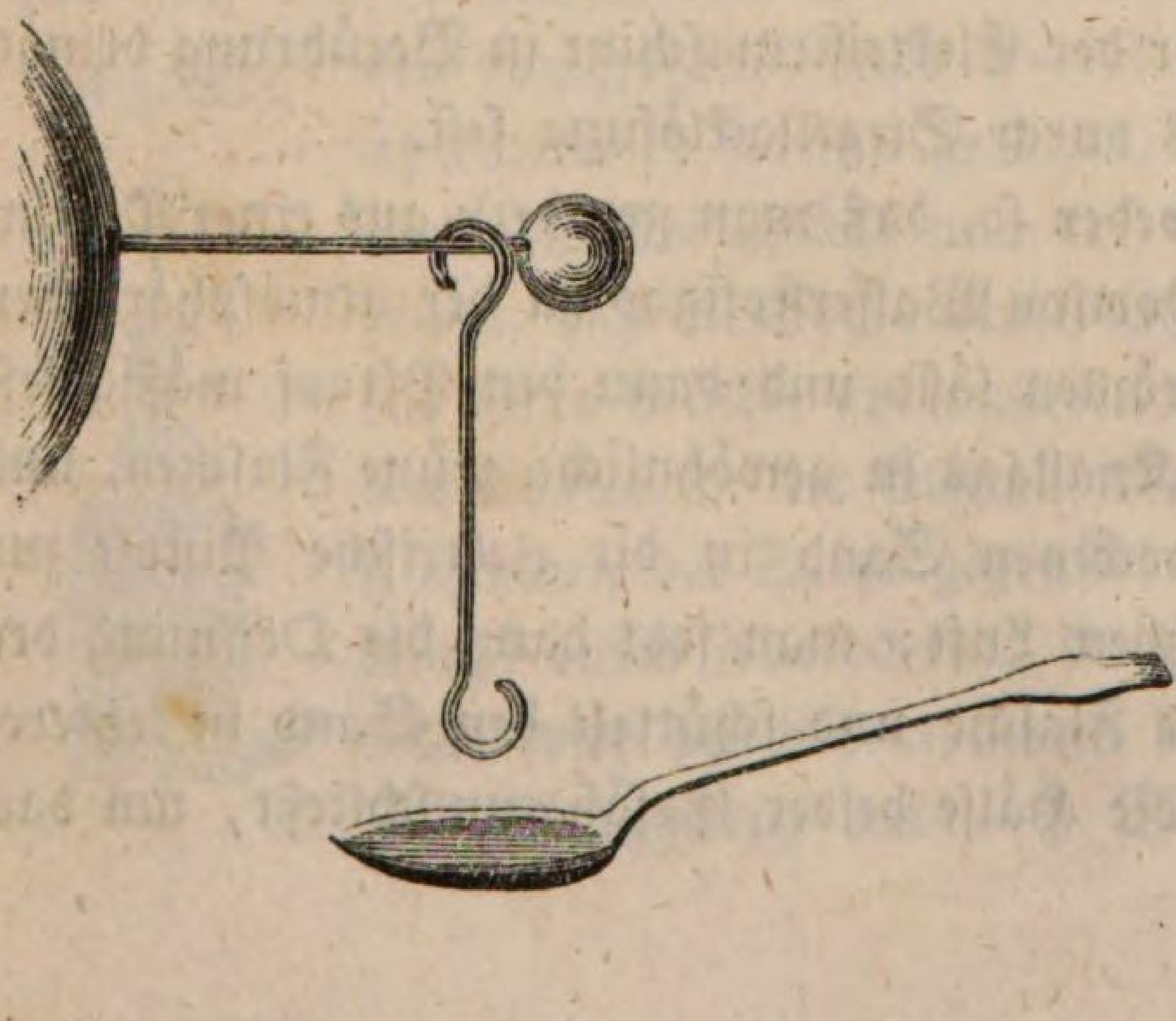


Nimmt man Streusand in das Gefäß oder zwischen die Platten, so nennt man den Versuch den elektrischen Sandwirbel.

6) Die Abstoßung gleichnamiger Elektricität kann man auch so zeigen, daß man auf dem Conductor — oder einem isolirten Gestelle — einen Draht von etwa 7 — 10 Zoll Höhe aufstellt, und auf diesen oben eine mit Stanniol bekleidete Pappscheibe von 1 — 2 Zoll Durchmesser steckt, an welche man abwechselnd weiße und farbige, 2 — 3 Linien breite Streifen von Seidenpapier klebt, welche etwas kürzer sind, als der Draht, Fig. 323. Kann man diesen nicht auf den Conductor stecken, so gibt jede grüne Flasche ein isolirendes Gestell, auf deren Kork der Draht gesteckt und durch eine Kette mit dem Conductor verbunden wird. Die Streifen stellen sich wie ein Schirm auseinander, wenn die Maschine gedreht wird.

7) Der elektrische Funke entzündet Weingeist, Schwefeläther, Knallgas. Der Weingeist muß bei schwächeren Maschinen — Maschinen von nur zwei Zoll Schlagweite und darunter — vorher erwärmt werden, oder man zündet denselben sonst an, läßt ihn ein wenig brennen und bläst ihn wieder aus. Er wird, wie der Schwefeläther, in einer flachen Schale oder einem Eßlöffel gegen einen abwärts gerichteten Knopf des Conductors, oder gegen einen daran gehängten, etwas dicken, zu zwei Ringen umgebogenen Messingdraht gehalten, Fig. 324, Schwefeläther braucht auch bei schwächeren Maschinen nicht vorher erwärmt zu werden. Meistens muß man mehrere Funken aufschlagen

Fig. 324.



lassen, wohl nur deswegen, weil manche derselben nach dem Rande des Löffels gehen.

Um Knallgas zu entzünden, bedient man sich eines metallenen Gefäßes, wie Fig. 325, oder wie Figur 326, oder auch von der Form einer

Fig. 325.

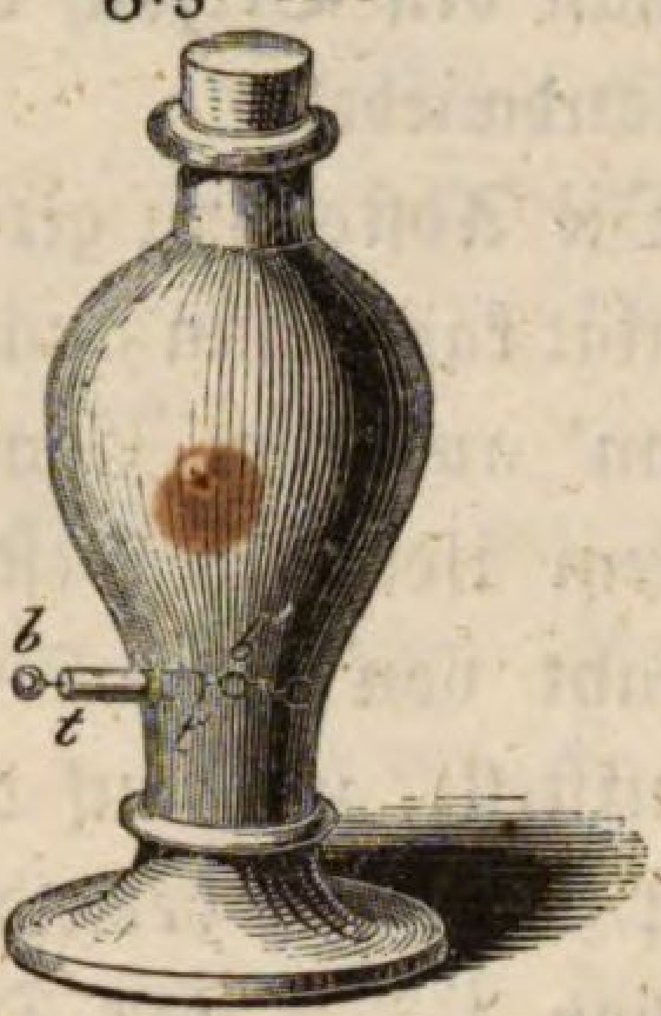
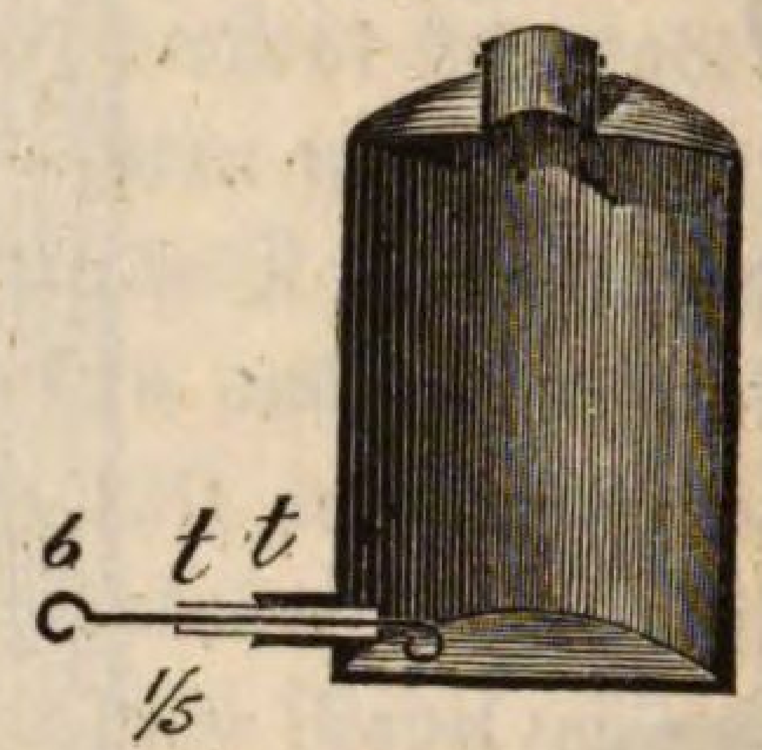
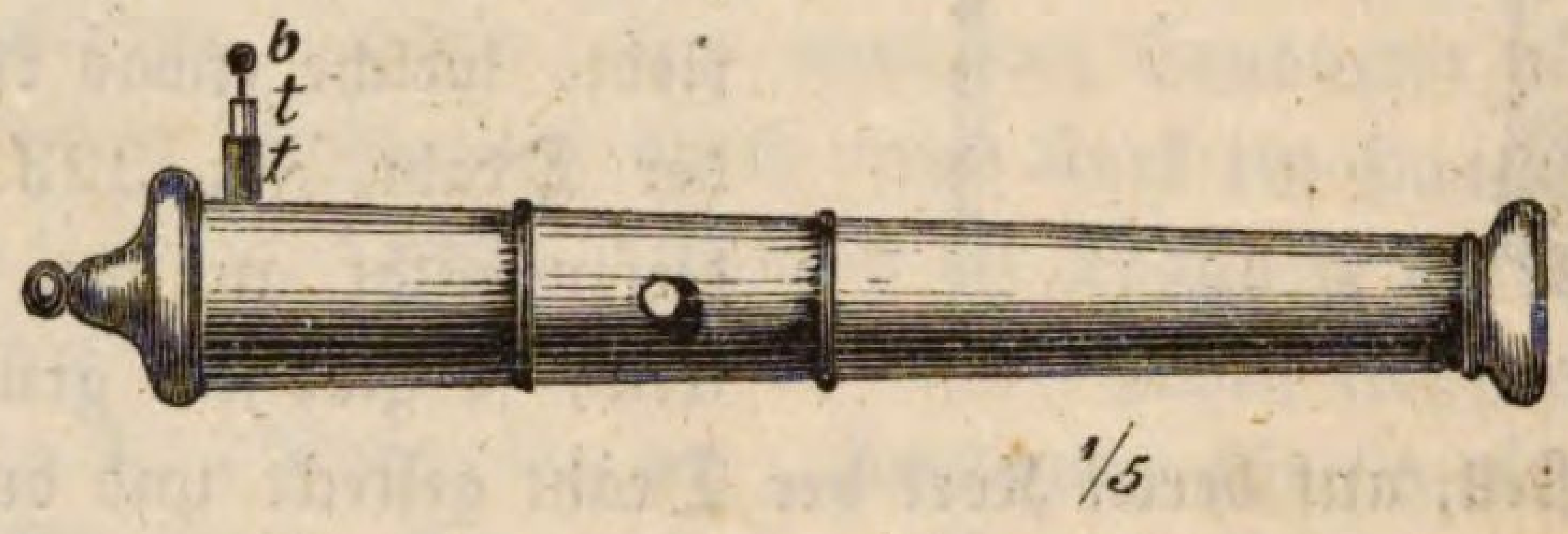


Fig. 326.



Kanone, Fig. 327; letzteree Form ist gegen das Zerspringen am meisten gesichert, allein auch bei Fig. 326 reicht starkes Weißblech aus, wenn man

Fig. 327.



das Gasvolumen nicht über 20–30 Kubikzoll vergrößert. An das Gefäß wird außerhalb ein kurzes, etwa 2 — 3 Linien weites Röhrchen gelöthet und in dieses das Glasröhrchen *tt* gekittet; der Draht, welcher durch das Glasröhrchen geht, wird beiderseits zu einem Ringe umgebogen und erhält innerhalb einen Abstand von ungefähr 1 Millimeter vom Boden des Gefäßes.

Man überzeugt sich durch Hineinsehen davon, ob wirklich Funken zwischen dem Drahte und dem Gefäße überschlagen, wenn man den äußeren Ring *b* mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Berührung bringt, und erst dann kittet man alles durch Siegellacklösung fest.

Das Laden geschieht entweder so, daß man geradezu aus einer Platinschwamm-Zündmaschine eine Portion Wasserstoffgas zu der atmosphärischen Luft der elektrischen Pistole strömen läßt und dann den Pfropf mäßig fest auffetzt, oder man füllt reines Knallgas in gewöhnliche grüne Flaschen, und Erbsen, Linsen, Schrot oder trockenen Sand in die elektrische Pistole zur Verdrängung der atmosphärischen Luft; man setzt dann die Oeffnung der Pistole auf die schnell geöffnete Flasche und schüttelt den Sand in letztere, während man mit der Hand die Hälse beider Gefäße umschließt, um das

Entweichen des Gases möglichst zu hindern. So erhält man einen viel stärkeren Knall. Auch der kleinste elektrische Funke zündet Knallglas an. Nimmt man das Wasserstoffgas aus einer Zündmaschine, so entfernt man vorher den Platinschwamm; man darf dabei aber das Verhältniß des Gasbehälters der Zündmaschine zum Volumen der elektrischen Pistole nicht übersehen, und muß denselben nöthigenfalls öfters in letztere entleeren, die natürlich in der Zwischenzeit verschlossen werden muß; gar zu verdünntes Knallgas wird nämlich nicht mehr entzündet; auch ist es rathsam, in diesem Falle nach dem Füllen etwas zu warten, damit die Gase sich gehörig mengen. Man hält übrigens die Pistole in der Hand gegen den Conductor der Elektrisirmaschine, doch muß sie jedenfalls einmal unter der gehörigen Vorsicht der Probe mit reinem Knallgas unterworfen werden. Letzteres geschieht, indem man hinter einer Thüre die Pistole mittelst Ketten, welche an die Pistole selbst und den Ring *b* gehängt werden, durch eine Leidner Flasche entladet.

8) Am meisten überraschen die Versuche mit der Elektrisirmaschine, wenn man den Körper eines auf dem Isolirschemel stehenden Menschen mit dem Conductor verbindet, was am besten dadurch geschieht, daß man ihn einen 1—2 Fuß langen und 2—3 Linien dicken Messingdraht, der beiderseits zum Haken umgekrümmt ist, auf den Conductor legen läßt. Die Funken sind für den Isolirten, wie für denjenigen, welcher die Funken mit dem Finger auszieht, besonders dann empfindlich stechend, wenn sie durch die Kleidungsstücke hindurch ausgezogen werden. Hält eine zweite Person einen Löffel mit Schwefeläther dar, so kann die isolirte Person denselben entzünden, wenn sie sich mit dem Finger dem Aether nähert. Hält eine zweite Person eine breite nicht isolirte Metallplatte, oder auch nur die flache Hand, über den Kopf der isolirten, so sträuben sich die Haare empor, was übrigens bei starker Elektricität und trockenen Haaren auch ohne dieses Hülfsmittel stattfindet.

9) Glas durchbohren. Man nimmt ein gewöhnliches Medicinglas von 3—4 Unzen, versieht es mit einem Pfropf, durch den man einen zugespitzten, etwa 2—3 Millimeter dicken Draht steckt; letzterer wird sodann gebogen, wie Fig. 328, zeigt, das Gläschen mit Oel gefüllt und der Pfropf mit dem Drahte so eingesetzt, daß die Spitze des Drahtes mit einiger Federkraft gegen das Glas drückt; am äußeren Ringe hängt man das Glas an den Conductor der Elektrisirmaschine. Nähert man nun dem Fläschchen der Spitze gegenüber rasch eine metallene Kugel (den Knopf eines Ausladers), so springt ein Funke über und das Glas wird durchbohrt, wenn die Maschine auch nur bis einen Zoll Schlagweite hat. — Die weiteren Funken gehen dann

Fig. 328.

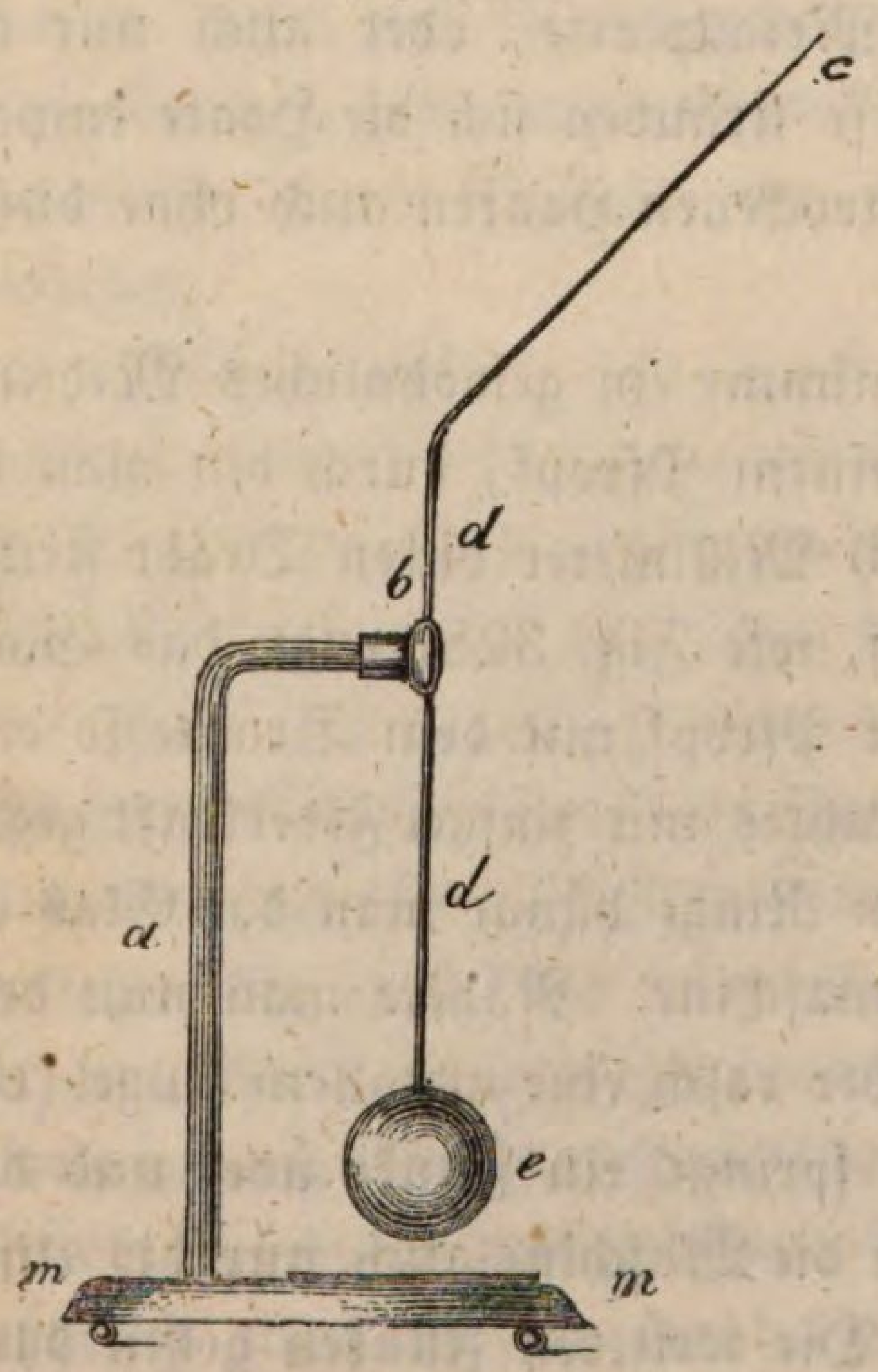


sogleich in der gewöhnlichen Schlagweite durch die Oeffnung. Man kann dasselbe Glas viele Male brauchen, denn die Oeffnungen sind ungemein fein, so daß man sie nur mit der Loupe gut sehen kann und nach tagelangem Stehen sich nur ein kleines Oeltröpfchen darauf zeigt; unter der Loupe zeigen sich aber die Oeffnungen von gleicher Beschaffenheit, wie jene, die man durch die Leidner Flasche macht, wovon später die Rede sein wird. Zu bedauern ist nur, daß dieser so mit kleinen Mitteln anzustellende Versuch eben der Kleinheit der Oeffnungen wegen beim Unterrichte nicht gut brauchbar ist.

217 Die Lehre von der **Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche** leitender Körper und die Wirkung der Spitzen kann man durch Versuche mit dem Probescheibchen, welches auf verschiedene Stellen einer isolirten Kugel angelegt wird, erörtern. Die Kugel kann von Holz und mit Stanniol überzogen sein, und wird an einem seidenen Schnürchen aufgehängt; der Stanniolüberzug muß aber mit besonderer Vorsicht geglättet werden. Ebenso kann man einen länglichten Cylinder verwenden, etwa den weiter unten bei den Versuchen über Vertheilung beschriebenen. Als Elektrometer dient dabei ein Goldblatt- oder Strohhalm-Elektrometer. Die Versuche lassen sich, wenn man nicht gerade Genauigkeit will, recht wohl beim Unterrichte machen.

218 **Die Wirkung der Spitzen** zeigt man durch eine mittelst Wachs an den Conductor geklebte feine Nähnadel. Man hält eine Kerzenflamme gegen dieselbe, um die Wirkung des elektrischen Windes zu zeigen, und kann zugleich den Unterschied in der Funkenlänge zeigen. Für letzteren Zweck kann man auch die Nadel in der Hand dem Conductor nähern. Ein sehr zweckmäßiger Apparat, um die Wirkung der Spitzen zu zeigen, ist in Fig. 329 dargestellt. Auf dem Brettchen *m m* ist der gebogene Glasstab *a* befestigt, dessen Ende eine hölzerne oder messingene Fassung *b* trägt, in welcher der gleichdicke, oben aber in die feine Spitze *c* auslaufende Draht *d* mit so viel Reibung verschoben werden kann, daß er in jeder Stellung hält. Dieser Draht trägt unten die angeschraubte metallene Kugel *e* von 1 — 2 Zoll Durchmesser, doch kann auch selbst eine Zinnkugel aus dem Flintenkugelmodel gebraucht werden; der Kugel *e* gegenüber ist auf

Fig. 329.



dem Brettchen ein etwas größeres glattes Blech befestigt. Richtet man die Spitze des Drahtes gegen den geladenen Conductor, so saugt sie still-schweigend Elektricität ein, welche je nach der Entfernung der Kugel vom Bleche als größere oder kleinere Funken in dieses übergeht.

Für den Satz, daß sich die Elektricität nur auf der Oberfläche an- 219
häufe, hat man hauptsächlich zwei Apparate. Der eine besteht aus einer leitenden Kugel, über welche zwei ebenfalls leitende, mit isolirenden Handgriffen versehene Halbkugeln passen, der Kugel aber ziemlichen Spielraum lassen, Fig. 330. Man macht entweder die Kugel vorher elektrisch, bevor man die Halbkugeln daran legt, oder erst nachher; in beiden Fällen zieht man die Halbkugeln, nachdem man sie mit der inneren Kugel in Berührung gebracht hat, an ihren Handgriffen wieder weg, indem man sie in gerader Richtung mit einem Ruck auseinander zieht. Nur die Halbkugeln sind nachher elektrisch. Der Versuch ist aber keiner von jenen, über deren Gelingen man sicher sein kann, wenn auch die Isolirung gut ist. Sicherer geht der folgende Apparat. An einen metallenen Cylinder *a b*, Fig. 331, an welchen beiderseits Rinnen ange-

Fig. 330.

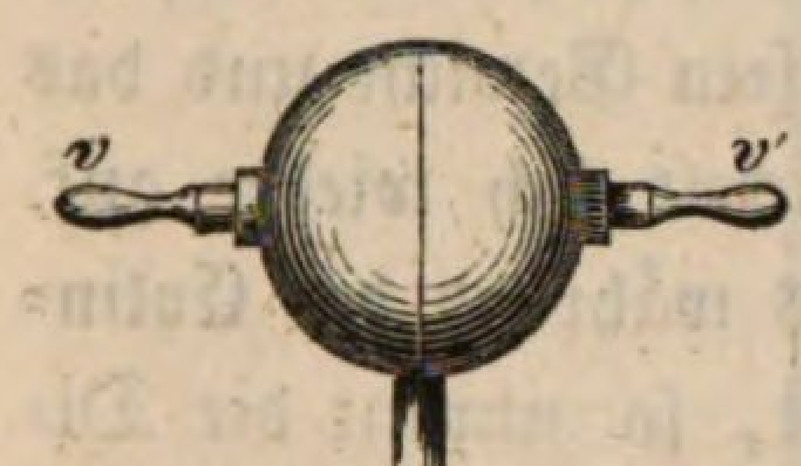


Fig. 331.

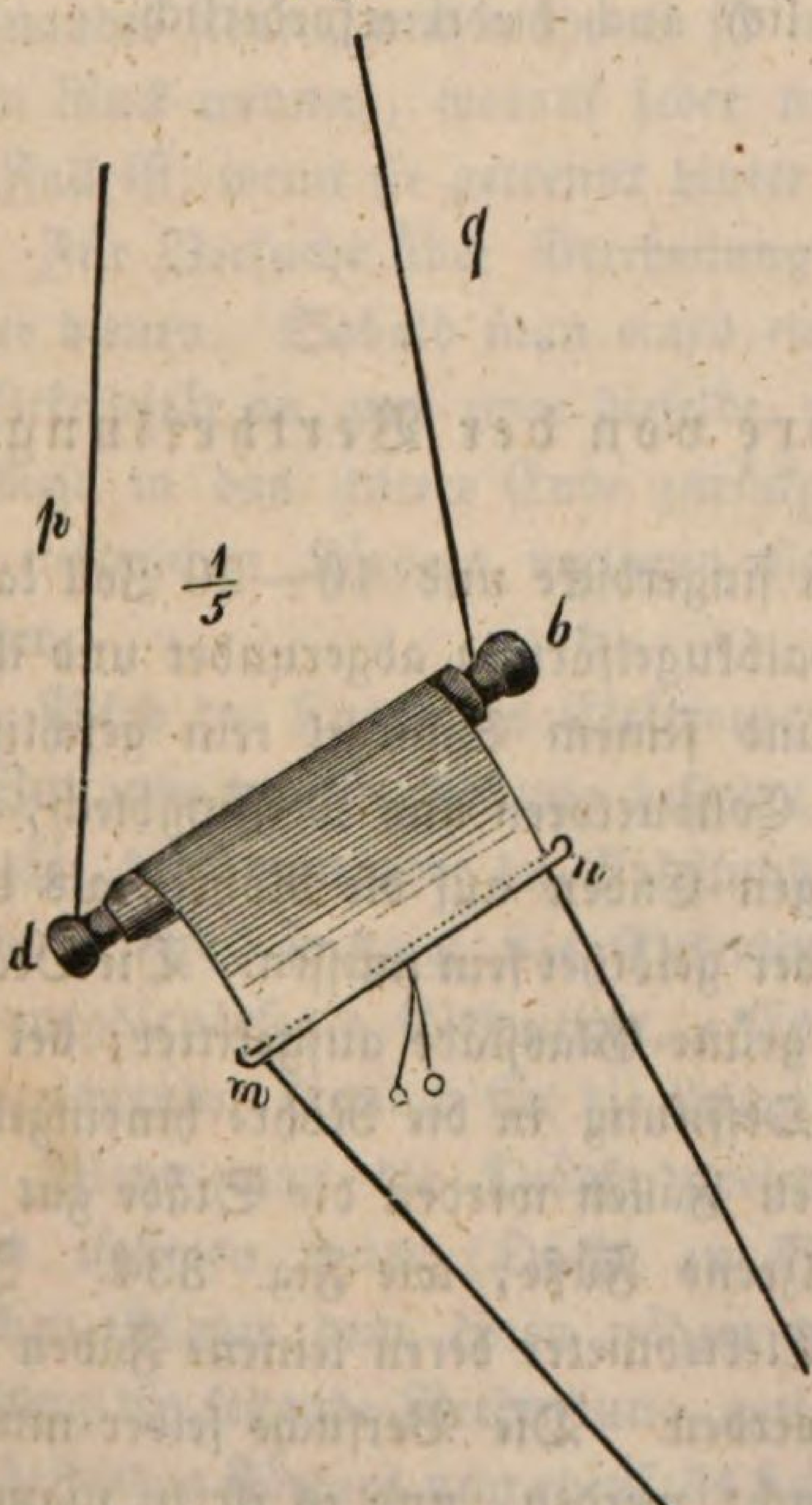
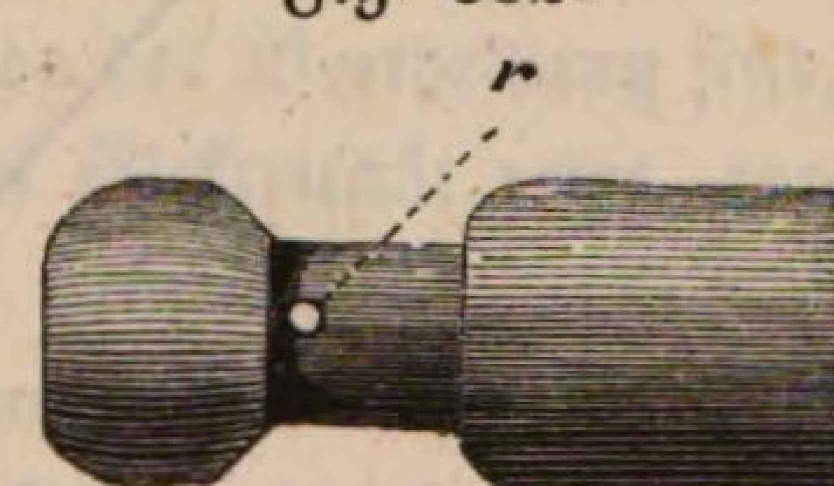


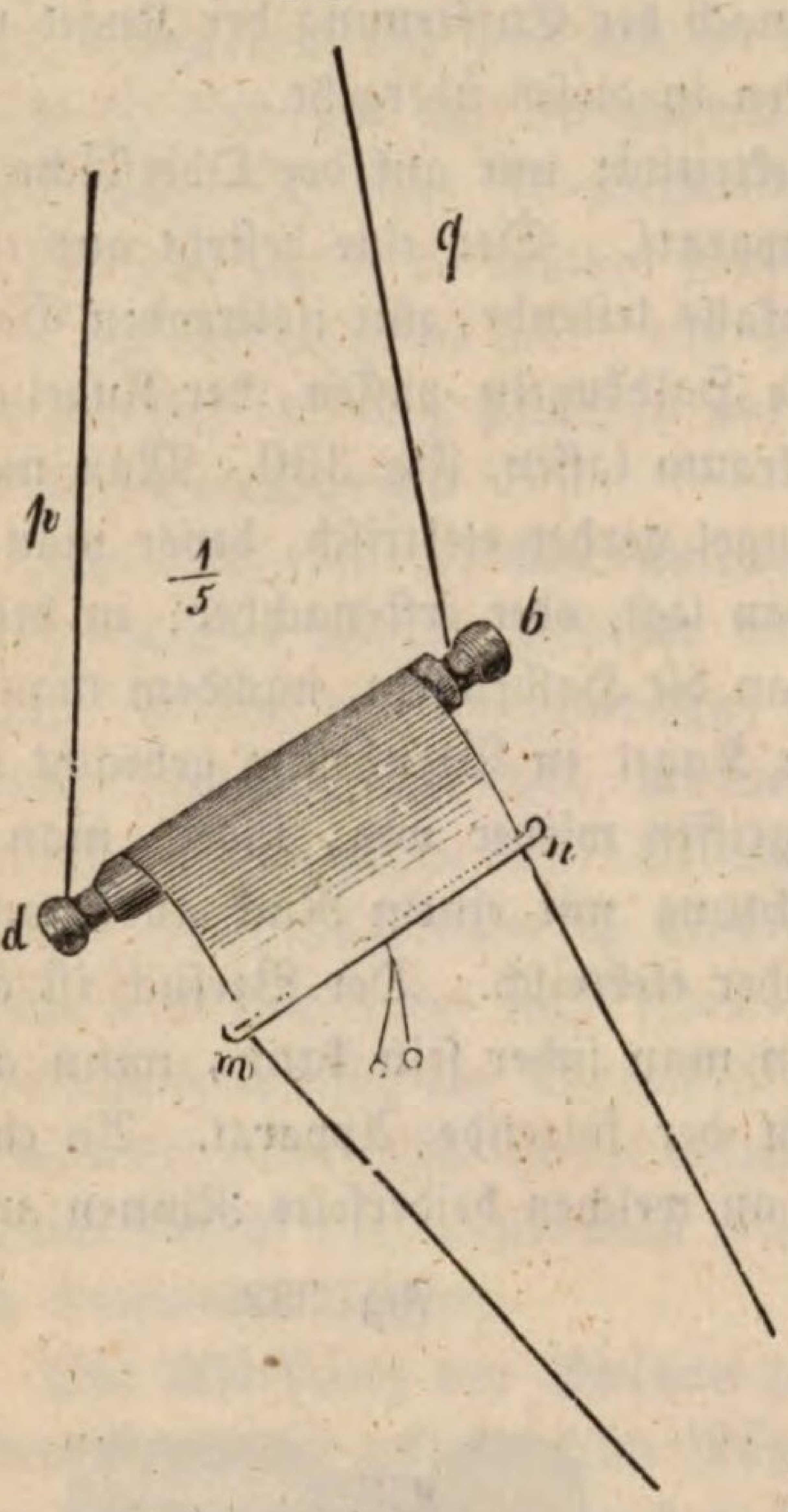
Fig 332.



dreht sind, ist ein 2—3 Zoll breiter Streifen ächten Goldpapiers von der Länge eines Bogens angeklebt. Das andere Ende des Streifens ist um ein Stück einer Thermometerröhre befestigt, an welche die beiden Enden *m n* einer etwa 2 Fuß langen Seidenschnur geknüpft sind, und trägt zugleich zwei Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden. Durch die Löcher *r*, Fig. 332, welche in die Rinnen gebohrt sind, werden die Enden *p q*, Fig. 331, einer anderen längeren Seidenschnur gezogen und durch Knoten am Herausgehen ver-

hindert. Wird nun der Goldpapierstreifen um den Cylinder aufgewickelt und dann, während dieser an den Schnüren $p\ q$ in der einen Hand gehalten wird, mit der anderen Hand an den Schnüren $m\ n$ gezogen, so muß sich der Cylinder an den Schnüren $p\ q$ in die Höhe wickeln, so wie sich der Goldpapierstreifen abwickelt; läßt der Zug nach, so sinkt der Cylinder $a\ b$ durch sein Gewicht und das Goldpapier wickelt sich wieder auf. Geschieht dieses während der Cylinder elektrisch ist, so nimmt die Divergenz des Hollundermark-Elektrometers ab, wie der Goldpapierstreifen abgezogen wird, weil dadurch die Oberfläche vergrößert wird; umgekehrt wächst sie wieder, wenn man das Goldpapier sich wieder aufwickeln läßt. Trockene Luft ist aber natürlich auch hiebei erforderlich.

Fig. 333.

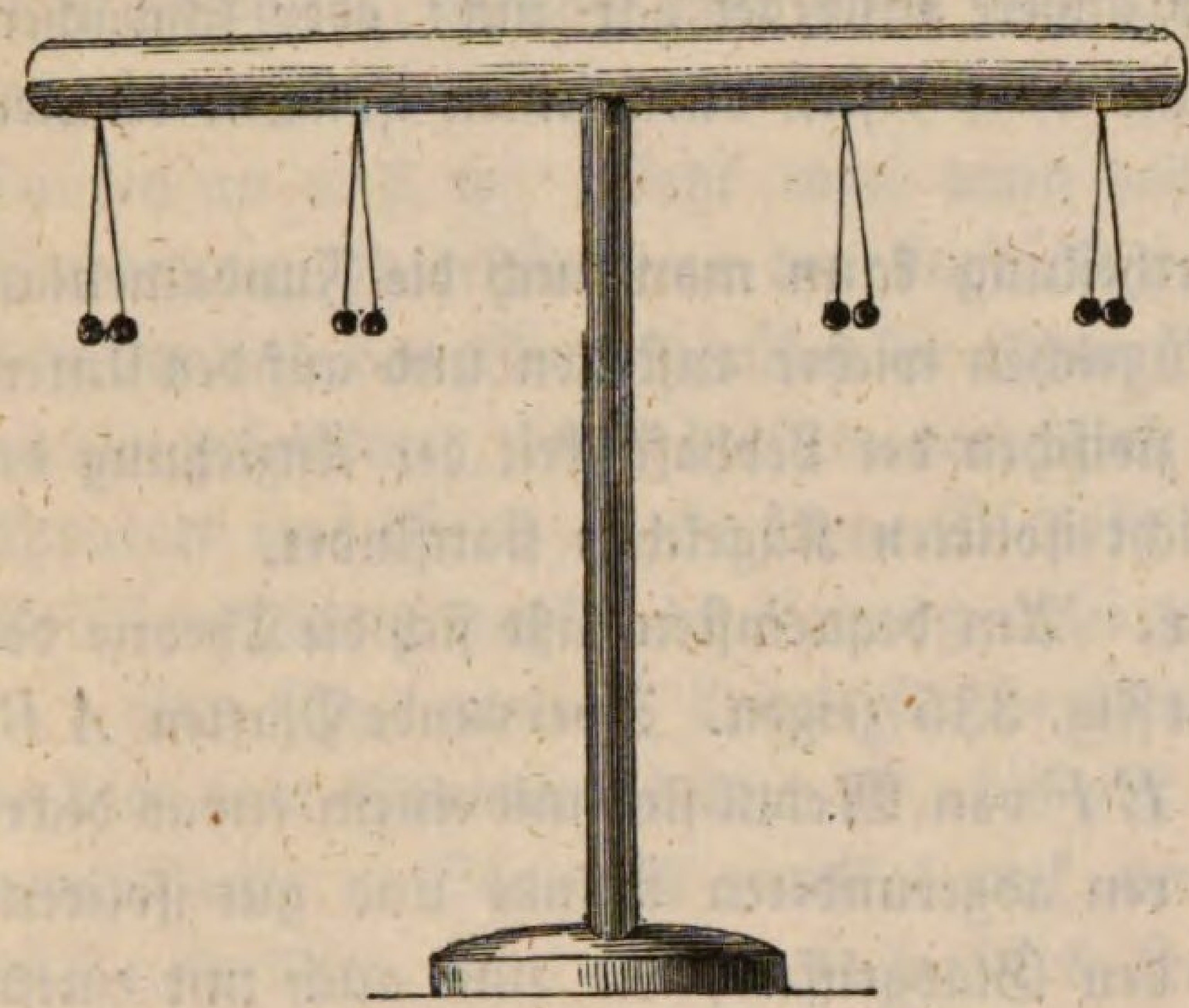


B. Versuche über die Lehre von der Vertheilung.

220 Man nimmt entweder zwei etwa fingerdicke und 10—20 Zoll lange Messingdrähte, die an beiden Enden halbkugelförmig abgerundet und ihrer ganzen Länge nach mit Bimsstein und feinem Smirgel rein geschliffen werden, oder lieber noch etwas dickere Conductoren aus Messingblech, wobei jedoch sowohl die halbkugelförmigen Enden auf die Röhre, als diese selbst der Länge nach scharf auf einander gelöthet sein müssen. Die Drähte werden auf etwa 10—12 Zoll lange grüne Glasstäbe aufgekittet; bei den Röhren kann für sie eine passende Oeffnung in die Röhre hineingehen, damit der Kitt besser halte. In beiden Fällen werden die Stäbe gut mit Schellack gefirnißt, und erhalten hölzerne Füße, wie Fig. 334. Jede Röhre erhält 4 Paar Hollundermark-Elektrometer deren leinene Fäden mit seidenen an den Conductor geknüpft werden. Die Versuche selber müssen nur bei ganz guter Witterung gemacht werden, und es ist in manchen Fällen besser, dem Conductor der Elektrisirmaschine seine Elektricität durch

Berührung zu entziehen, statt den Vertheilungsconductor wieder von ihm zu entfernen, um ihn aus der elektrischen Atmosphäre zu bringen. Uebrigens eignet sich als elektrischer Körper für solche Versuche ein Harzkuchen besser, als der Conductor der Elektrisirmaschine, selbst die Siegellack- oder Glasstange ist vorzuziehen, da von ihnen aus weniger ein wirklicher Uebergang stattfindet. Um nachzuweisen, daß der in Vertheilung befindliche Conductor an seinen beiden Enden entgegengesetzte Elektricität habe, nimmt man am besten eine Hollundermarkkugel am seidenen Faden, der man vorher Elektricität mittheilt und nähert dieselbe dem im Zustande der Vertheilung befindlichen Conductor an verschiedenen Stellen.

Fig. 334.



Nimmt man beide Vertheilungs-Conductoren, so kann man sie als Einen aneinander stellen, und während sie im Zustande der Vertheilung sind, durch einen Ruck trennen, worauf jeder nur einerlei Elektricität zeigt, was nicht der Fall ist, wenn sie getrennt hinter einander stehen.

Für Versuche über Vertheilung kann auch jedes empfindliche Elektro- 221
meter dienen. Sobald man einen elektrischen Körper demselben nähert, zeigt es Elektricität an, und zwar dieselbe, welche der elektrische Körper selbst besitzt, da diese in das untere Ende zurückgedrängt wurde. Mit der Entfernung des elektrischen Körpers verlieren sich auch die Anzeigen von Elektricität wieder.

Wird der Knopf des Elektrometers ableitend berührt, während es sich im Zustande der Vertheilung befindet, so verlieren sich alle Zeichen der Elektricität; hebt man aber die Ableitung wieder auf, ehe der elektrische Körper entfernt wird, so zeigt das Elektrometer nach der Entfernung des letzteren die entgegengesetzte Elektricität. Es ist dieses zugleich ein einfacher und unterrichtender Versuch für die Lehre von gebundener Elektricität.

Wenn man die Knöpfe zweier gleicher Strohhalmelektrometer durch einen isolirten Leiter (Draht an Siegellack) verbindet, dann einen elektrischen Körper dem einen nähert und während dem Zustande der Vertheilung die leitende Verbindung entfernt, so zeigen nach Entfernung des vertheilenden Körpers nun ebenfalls beide Elektrometer verschiedene Elektricität. Ueberhaupt lassen sich mit zwei gleichen Strohhalmelektrometern noch manche

Versuche über Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche, über gegenseitige Neutralisirung der beiden Elektricitäten u. d. gl. machen, indem man das eine elektrisch macht und das andere entweder gar nicht oder schwächer, oder entgegengesetzt elektrische mit dem ersten durch einen isolirten dünnen Draht verbindet.

Bei der Lehre von der Vertheilung kann man auch die Fundamentalversuche mit den Hollundermarkkügelchen wieder anstellen und auf den Unterschied aufmerksam machen, der zwischen der Lebhaftigkeit der Anziehung bei einem isolirten und bei einem nicht isolirten Kügelchen stattfindet.

222 **Gebundene Elektricität.** Am bequemsten läßt sich die Theorie der Leidener Flasche durch den Apparat Fig. 335 zeigen. Zwei runde Platten *A B*, *E F* von Metall sind mit einem etwas dickeren abgerundeten Rande und gut isolirenden Glasgriffen, die eine auch mit einem hölzernen Fuße versehen; zwischen beide kommt eine dünne Glasplatte *C D*, die mindestens 1 Zoll die Platten *A B*, *E F* überragt; sie braucht nicht abgerundet zu sein. Statt der Metallplatten, kann man sich gut eben gedrehter und glatt geschliffener Holzplatten bedienen, die man schön glatt mit Stanniol überklebt, wodurch der Apparat sehr wohlfeil wird. Jede Platte wird mit einem Hollundermark-Elektroskop versehen, welches abgenommen werden kann; zu dem Ende ist das obere an einem mit metallenem Füßchen versehenen Draht, das untere an einem Häkchen aufgehängt. Nimmt man nun *A B* an ihrem Glasstabe ab, läßt einen Funken darauf schlagen, und nähert sie der Glasplatte, während die Kügelchen divergiren, Fig. 336, so sinken ihre Kügelchen sehr nahe zusammen und die von *E F* divergiren; nimmt man *E F* ihre Elektricität ab, so sinken auch die Kugeln von *A* bis auf eine kaum merkliche Distanz zusammen. Wird *A B* wieder abgehoben, so divergiren jetzt beide Kugelpaare. Leitet man, während *A B* auf der Glasplatte

Fig. 335.

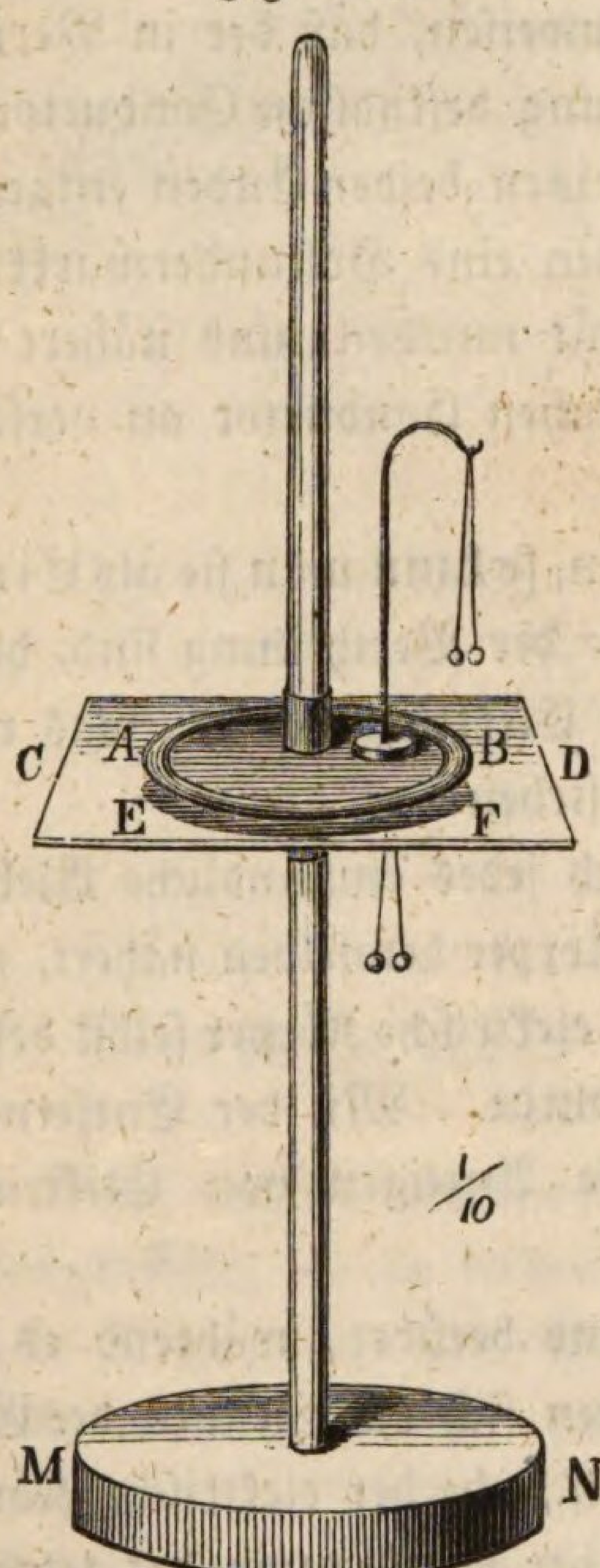


Fig. 336.



sitzt, mittelst eines isolirten Drahtes neue Funken auf AB, so divergiren beide Kugelpaare ebenfalls; man läßt nun Funken übergehen, so lange sie AB annimmt; berührt man dann EF ableitend, so sinken die Kugeln zusammen, jedoch die obere nicht mehr ganz; allein AB nimmt wieder neue Funken an u. s. w. Setzt man dann beide Platten durch einen Draht in Verbindung, so erhält man den verstärkten Funken; trennt man aber beide Platten und das Glas, berührt die Platten ableitend und setzt den Apparat wieder zusammen, so ist derselbe doch noch geladen. Man nimmt zu dem Apparate eine dünne, recht ebene Glasplatte und darf darum und auch der Selbstentladung wegen, die Ladung nicht zu weit treiben.

Zur Lehre von der Leidnerflasche dient auch eine Glastafel, die beiderseits mit Stanniol belegt ist, bis auf einen Abstand von etwa 2 Zoll vom Rande. Sie wird vertikal auf einen hölzernen Fuß gestellt, Fig. 337 und 338, und erhält beiderseits Hollundermarkkugeln an leinenen

Fig. 337.

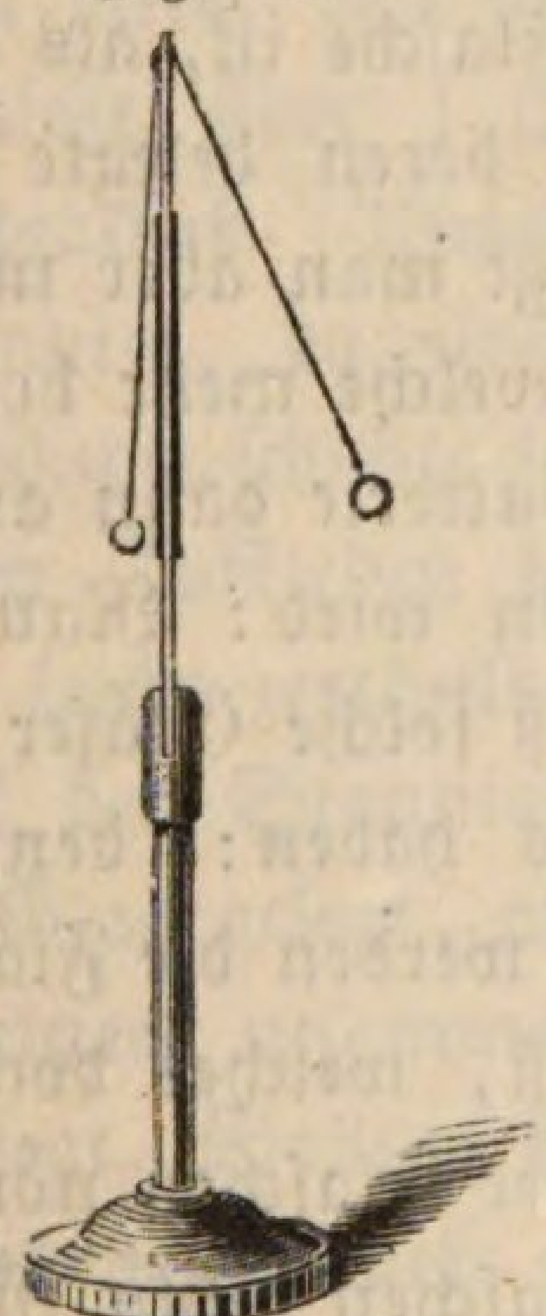
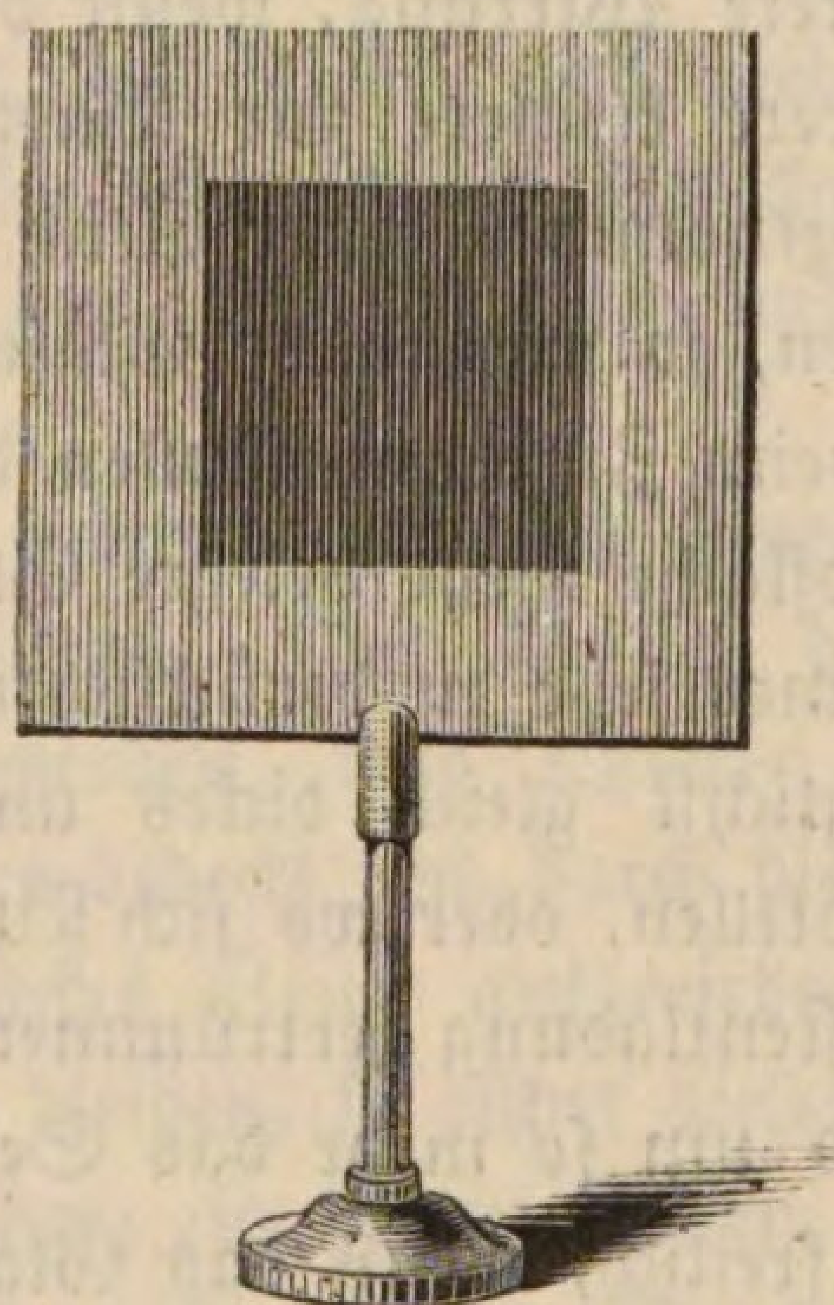


Fig. 338.



Fäden, welche mit etwas Wachs auf den Stanniol geklebt werden. Die Ladung wird wie gewöhnlich durch Anstellen der einen Belegung an den Conductor bewirkt, wobei man die andere Seite ableitend berührt oder den Finger doch in die Nähe hält, um Funken überspringen zu lassen.

Wird die Tafel vom Conductor entfernt, so kann man abwechselnd die eine und die andere Belegung berühren; jedesmal fällt das Pendel der berührten Seite zurück bis an die Belegung und das andere entfernt sich. Es ist gut, wenn der freie Rand des Glases mit Siegellackauflösung gefirnißt wird, und zwar durch widerholte Anstriche, wozu man jedesmal die Lösung gehörig aufrüttelt. Sie muß mit starkem — 90 procentigem Weingeist gemacht werden und Siegellack im Ueberschuß enthalten. Wenn der Anstrich so dick geworden ist, daß nirgends mehr Glas durchscheint, was man aber lieber durch öftern Anstrich, als durch dickes Auftragen

erreichen muß — so giebt man zuletzt noch einen oder zwei Anstriche mit reiner Schellacklösung, da Siegellacklösung, auch wenn ganz gutes Siegellack verwendet wird, gerne ein wenig klebend bleibt; Schellack aber giebt der Oberfläche Festigkeit und dauerhaften Glanz.

Auch die Schellacklösung muß mit ganz starkem Weingeist und überschüssigem Schellack gemacht, dann aber filtrirt werden, wie dieses bereits in §. 22 näher angegeben ist.

223 **Die Leidnerflasche.** Herstellung derselben. Am geeignetsten dazu sind die sogenannten Zuckergläser. Was die Größe betrifft, so bedarf man deren mehrere: eine ganz kleine, etwa von 4 — 5 Zoll Höhe und 2 — $2\frac{1}{2}$ Zoll Breite, eine größere von etwa 2 Liter Inhalt, welche als Maaßflasche hergerichtet wird, und eine oder mehrere beliebig große, außerdem noch eine vierte ebenfalls von 3 — 6 Liter Inhalt, und dickem Glase für Versuche mit hoher Spannung.

Wenn man eine größere belegte Oberfläche braucht, so erreicht man immer stärkere Wirkung, wenn diese auf einer Flasche ist, als wenn man dafür mehrere kleinere zur Batterie verbindet, deren belegte Oberfläche zusammen genommen jener gleich sind. Verfertigt man aber mehrere größere Flaschen, so sind solche Gläser vorzuziehen, welche mehr hoch als weit sind, weil beim Zusammenstellen derselben zur Batterie dann auf der gleichen Grundfläche mehr belegte Glasfläche erhalten wird: Raumersparniß aber ist immer sehr zu berücksichtigen. Man muß solche Gläser aussuchen, welche möglichst gleich dickes und reines Glas haben: denn an den dünneren Stellen, oder wo sich Blasen vorfinden, werden die Flaschen leicht durch Selbstentladung zertrümmert, ein Ereigniß, welches doch mitunter eintritt und um so mehr das Selbstanfertigen der Flaschen nöthig macht. Gut ist es freilich, wenn das Glas bei diesen Flaschen dünn ist, nur darf man dieselben dann nie für solche Versuche verwenden, welche etwas höhere Spannung erfordern, sondern nur für solche, bei welchen es mehr auf die Quantität der Elektricität ankommt, die man dann durch Vermehrung der belegten Oberfläche, d. h. der Flaschenzahl erreicht. Jene Flasche, welche für die Versuche mit hoher Spannung bestimmt ist, muß etwa liniendickes Glas und einen breiten unbelegten Rand haben.

Allerdings erhält man auch eine größere Quantität, wenn man die Flaschen auf eine hohe Spannung ladet, d. h. so weit, daß ihre Funkenlänge sich der Funkenlänge der Maschine nähert, allein dabei verliert man durch die unvollkommene Isolirung sehr viel Elektricität, d. h. Zeit beim Laden, und dieses ist ja bei kleineren Maschinen ohnehin zeitraubend genug. Man kann sich leicht überzeugen, wie weit man die Ladung einer Flasche oder Batterie, wo es nicht auf hohe Spannung ankommt, ohne Zeitverlust treiben kann, wenn man dieselbe einmal gut isolirt und die

äußere Belegung mit der Lanne'schen Maaßflasche verbindet, deren Kugeln sehr nahe gestellt sind, wie dieses bereits oben bei der Elektrisirmaschine §. 194 beschrieben wurde So wie die für eine Entladung der Maaßflasche erforderliche Zahl der Umdrehungen rasch steigt, wird man die Quantität der Ladung nicht mehr im Verhältnisse der erforderlichen Arbeit vermehren, und es wird daher vortheilhafter sein, wenn es doch geschehen muß, für die Erreichung gewisser Resultate die Zahl der Flaschen zu vermehren. Mit 4 Quadratfuß äußerer Belegung reicht man für alle Versuche aus, die zur Erläuterung der Wirkung des Schlages nöthig sind, wenn die Maschine auch nur 2 Zoll Schlagweite hat; der unbelegte Rand wird dabei etwa 3 — 4 Zoll hoch, damit man für gewisse Fälle auch noch ordentliche Spannung anwenden kann.

Das nächste Erforderniß nach dem Glase ist der Stanniol, der leider nicht überall zu haben ist. Spiegelbeleger haben zwar solchen, allein der ihrige ist zu dick Wenn keiner im Orte zu haben ist, läßt man ihn am besten direct von Nürnberg kommen. Das Pfund feine Glanzfolie kommt nicht über 1 fl. 24 — 36 Kr. zu stehen, und giebt mindestens 24 Quadratfuß. Unächtes Silberpapier ist nur ein schlechtes Surrogat für Stanniol, da einmal das Zinn auf ihm sehr oft unterbrochen ist, und die Papierschichte schlecht leitet.

Zum Aufkleben des Stanniols bedient man sich eines sehr gleichförmigen leicht zertheilbaren Stärkekleisters. Der Kleister darf nur sehr dünn auf den Stanniol aufgetragen werden, und letzterer wird sodann auf das Glas gelegt, mit einem Papier bedeckt und durch dieses hindurch, mittelst eines zusammengeballten Stückes Zeug aufgerieben, so daß er glatt anliegt. Sollten dennoch Blasen bleiben, so rührt dieses von zusammengeschobener Stärke oder von Luft her; in beiden Fällen hilft ein kleiner Schnitt in die Blase und widerholtes Anreiben. Da der Boden der Gläser gewöhnlich nach innen erhaben ist, so fängt man bei diesem an und schneidet dazu ein rundes Stück Stanniol, dem man am Rande Einschnitte giebt; man nimmt dasselbe so groß, daß es noch an die Seitenwand hinauf reicht. Diese letztere wird mit senkrechten, je nach der Größe der Flasche nicht über 2 — 3 Zoll breiten Stanniolstreifen belegt. Erst wenn die Flasche innerhalb überzogen ist, beginnt man den äußeren Ueberzug; da hier der Boden vertieft ist, so spannt sich der Stanniol eben über die Vertiefung; man sucht denselben, nachdem die Ränder aufgerieben sind, durch sanftes Reiben mit einem Tuche nach und nach in die Vertiefung hinab zu treiben, welches gewöhnlich gelingt, wenn die Vertiefung nicht zu stark ist; etwa entstehende Risse müssen eben ausgeflickt werden. Ist der Ueberzug fertig, so stellt man die Flasche auf den Tisch und bezeichnet durch Einschnitte ringsum eine gleiche Höhe vom Boden; nach

diesen Einschnitten schneidet man dann den Stanniol ringsum in gleicher Höhe mit einem Messer zuerst äußerlich und nachher auch innerhalb eben.

Die oben erwähnte kleine Flasche, so wie die Maaßflasche, welche beide dünnes Glas haben sollten, erhalten einen unbelegten Rand von etwa 2 Zoll, welcher entweder mit Schelllack- oder besser Siegellacklösung überstrichen wird — ersteres nach vorherigem Erwärmen der Flasche; doch ist dieses nicht geradezu nothwendig. Die größeren Flaschen erhalten einen unbelegten Rand von 3 — 4 Zoll und Flaschen für hohe Spannung müssen einen freien Rand von 6 — 8 Zoll haben, wobei es gut ist, wenn auch noch der Leitungsdraht vom Knopfe bis in die Flasche hinein in eine Glasröhre eingeschlossen wird.

Nachdem die Flaschen mit Stanniol belegt sind, macht man für dieselben, wenn sie einzeln bleiben, ein Futter von Pappe, welches innen und außen mit Silberpapier überzogen ist und etwa bis auf $1/3$ oder $1/2$ der Höhe der Belegung reicht. Es dient sowohl zum Schutze der Belegung als des Glases, auch kann man gerade oberhalb dieses Futters einen Ring von dünnem Messingdraht um die Flasche legen, der einerseits eine Hafte bildet für das Einhängen der Ketten rc.

Zuletzt läßt man vom Dreher einen möglichst gut passenden Deckel von Holz verfertigen, durch welchen der zu leitende Draht bis nahe auf den Boden der Flasche reicht. Man nimmt hierzu Messingdraht von 1 Linie Stärke — für sehr große Flaschen wohl auch Messingröhren von 2 — 4 Linien Durchmesser. Das äußere Ende dieses Zuleiters erhält einen Knopf von $1/2$ — 2 Zoll Durchmesser, der auf den Draht geschraubt oder gelöthet wird. Der Knopf ist hohl, und kann allenfalls vom Blechner aus Messingblech getrieben und scharf zusammengelöthet werden. Zur Noth kann man auch an den Draht in jedem Flintenkugelmodel eine Zinnkugel angießen. Der Mechanicus macht sie aus zwei hohl gegossenen Halbkugeln und dreht sie rund. Das innere Ende erhält ein Stück Tresse oder ein paar kurze Kettchen zur Verbindung mit dem inneren Belege und zur Schonung derselben. Bei der kleinen Flasche wird, einiger Versuche wegen, der Deckel aufgekittet, so wie bei der Lanne'schen Maaßflasche. Das Aufkitten kann hier ganz einfach so geschehen, daß man Siegellacklösung wiederholt zwischen Deckel und Glas laufen läßt, nachdem vorher wenigstens der Rand des Deckels, wo er auf dem Glase aufsitzt, mit solcher Lösung angestrichen wurde.

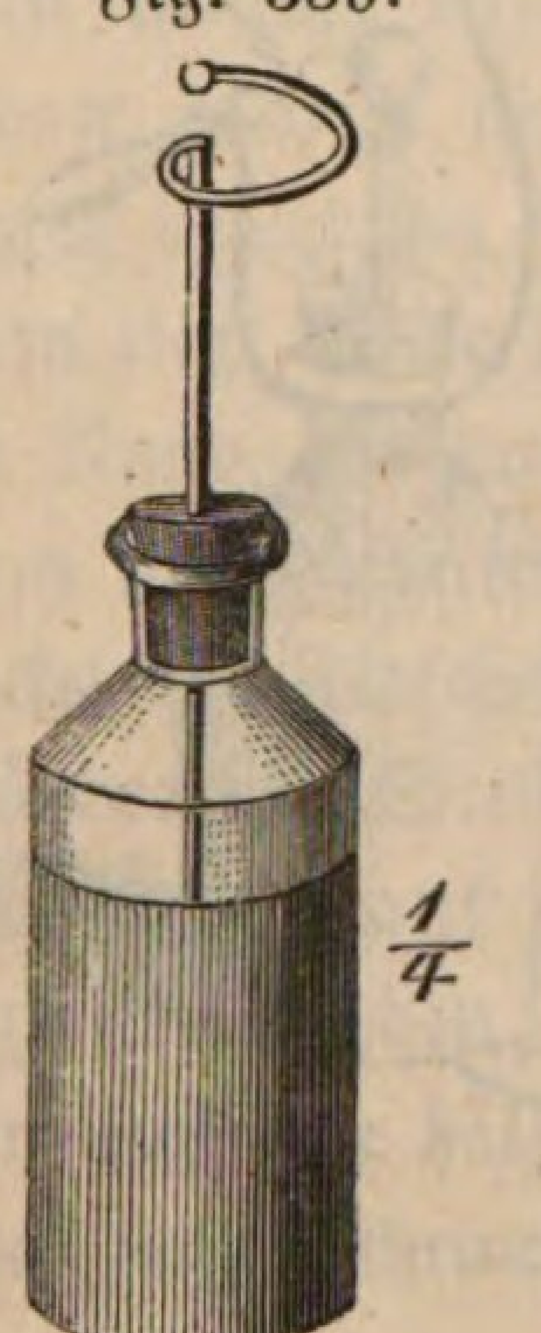
Sollen mehrere Flaschen in eine Batterie vereinigt werden, so kommen sie in einen Kasten zu stehen, der sie gerade alle in gehöriger Ordnung fassen kann, und innen mit Stanniol bekleidet wird; ein mit diesem Stanniol verbundener Messingring wird außen angebracht. Die inneren

Belegungen werden durch dicke Messingdrähte, welche von Kugel zu Kugel oder von Stange zu Stange gehen, verbunden.

Bequem sind solche Batterien, denn man kann eine willkürliche Zahl ihrer Flaschen am inneren Belege mit einander verbinden. Für Ladungen mit hoher Spannung sind sie aber deswegen nicht angenehm, weil hierbei manchmal eine Flasche durch Selbstentladung zertrümmert wird und man nicht immer wieder eine haben kann, welche gerade den Platz der zertrümmerten ausfüllt. Man hat aber in der That Batterien nicht nöthig, es sind ja schnell eine Anzahl Flaschen zusammengestellt, und durch einen, sie alle umfassenden weichen Messingdraht äußerlich verbunden. Die Verbindung der inneren Belege muß durch dicken Messingdraht geschehen, der beiderseits hakenförmig umgebogen oder mit Kugeln versehen ist. Auf gute Verbindung muß hier besonders gesehen werden.

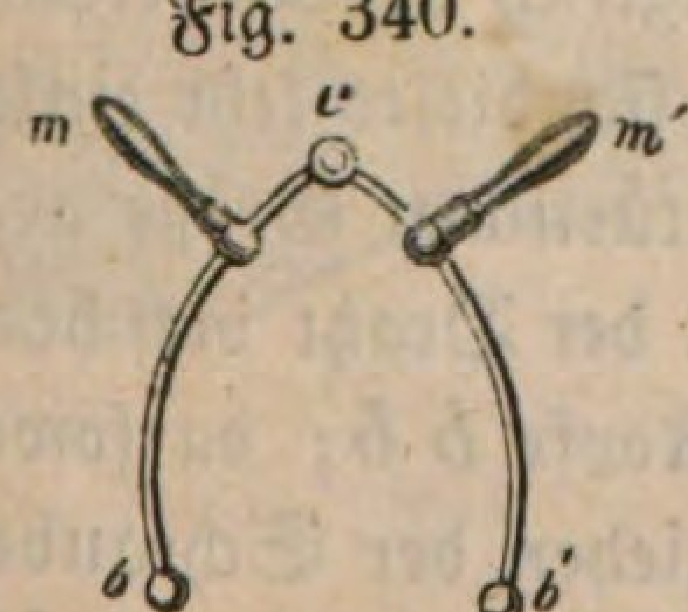
Ganz kleine Flaschen verfertigt man manchmal aus Medicingläsern; sie werden dann nur äußerlich mit Stanniol überzogen. Statt der inneren Belegung füllt man sie mit Feilspänen entweder ganz, oder man schüttet zuerst eine etwas dicke Gummilösung hinein, die man auf der inneren Seite bis zur verlangten Höhe ausbreitet, und dann erst die Feilspäne; was von dem letztern nicht angeklebt wird, schüttelt man nach dem Trocknen wieder heraus. Der Leitungsdraht wird in diesem Falle durch einen Kork gesteckt. Man kann den Leitungsdraht an solchen Fläschchen, wie in Fig. 339, krümmen. Nimmt man dann in die drei letzten Finger ein amalgamirtes Leder, um eine in der anderen Hand gehaltene Glasröhre zu reiben, während man ein solches Fläschchen zwischen Daumen und Zeigefinger so hält, daß die geriebene Glasröhre durch den Ring geht und an ihm streift, so kann man eine so kleine Flasche hinlänglich laden, um etwa Knallgas zu entzünden, und einen kleinen Schlag zu erhalten.

Fig. 339.



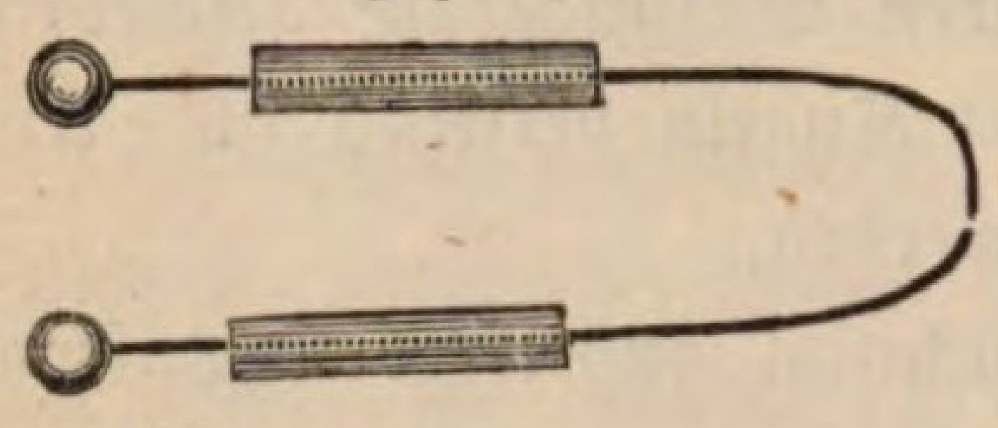
Der Auslader. Als Auslader kann man am vortheilhaftesten die in Fig. 340 abgebildete Vorrichtung anwenden, wo die beiden mit Knöpfen versehenen Drähte *b c* und *b' c* durch ein Gelenk in *c* verbunden sind und jeder einen besonderen isolirenden Handgriff hat, wodurch man also die Entfernung der beiden Knöpfe nach Belieben reguliren kann. Der Apparat muß so groß sein, daß er auch bei den größeren Flaschen ausreicht, wozu die einzelnen Arme 8—10 Zoll lang sein müssen. Als Handgriffe nimmt man 4 — 5 Zoll lange und 1/2 — 1 Zoll dicke grüne Glasstäbe, 224

Fig. 340.



welche eine kurze Messingfassung bekommen, die an die Drähte angelöthet wird. Wenn die beiden Arme nur einen isolirenden Griff beim Gelenke *c* haben, so ist dieses sehr unbequem, viel unbequemer, als wenn man sich der allereinfachsten Entlader bedient. Am einfachsten ist es nämlich, an einer etwas starken Kette von Messingdraht, etwa wie die Ketten für die Uhrengewichte, einen Draht mit angegossener Kugel von Blei oder Zinn zu befestigen, der in eine Glasröhre eingeschlossen ist. Die Kette wird dann am äußeren Belege angehängt und der Draht an der Glasröhre gehalten. Zweckmäßiger ist es aber, einen längeren Draht von 2—3 Millimeter Durchmesser mit zwei Glasröhren und Kugeln zu versehen, wie dieses Fig. 341 zeigt. Der Draht kann federhart sein.

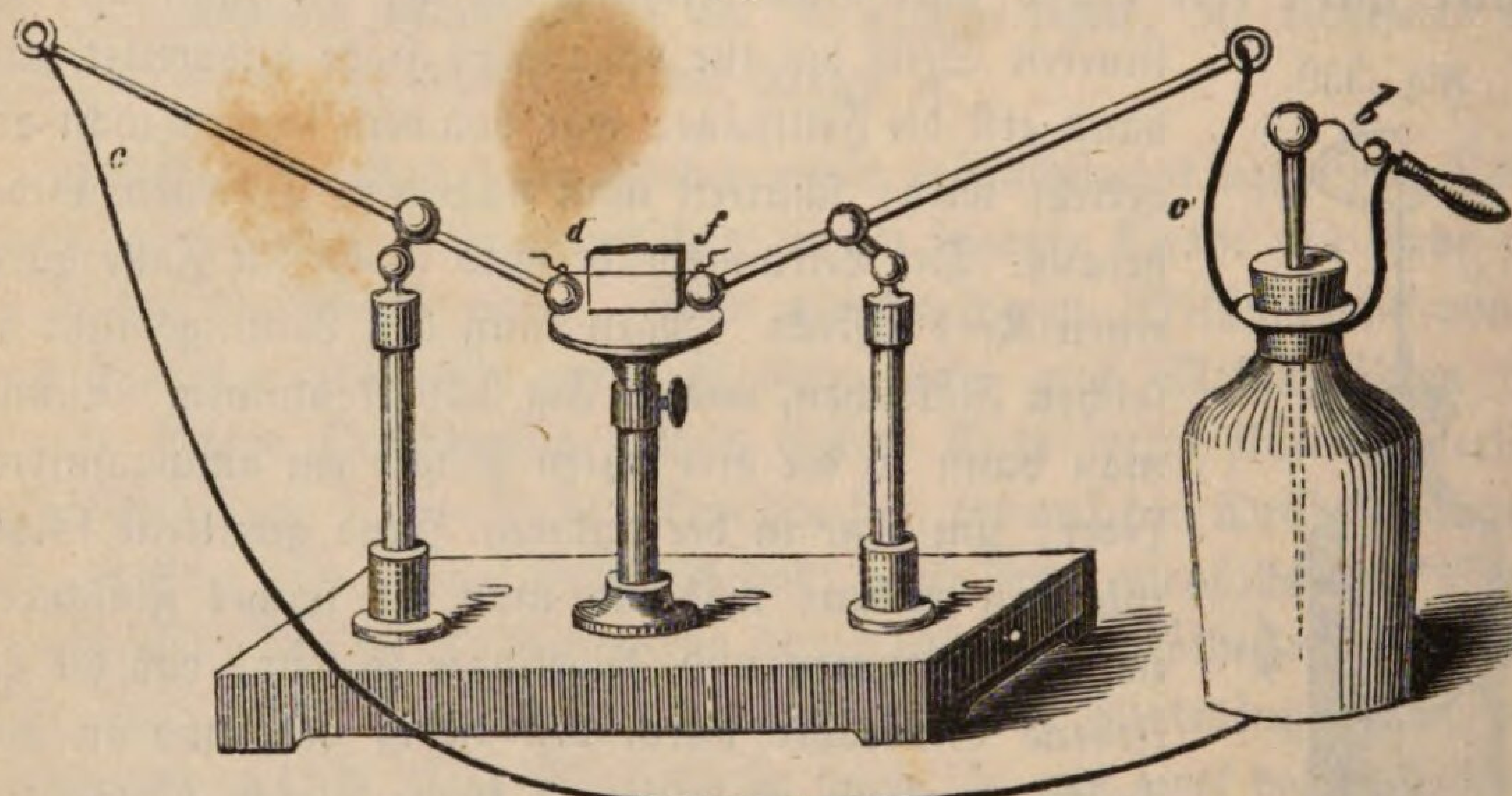
Fig. 341.



½

225 Ein sehr bequemer Apparat ist der Henley'sche allgemeine Auslader, der in Fig. 342 in Verbindung mit einer kleinen Flasche abgebildet ist. Er besteht aus zwei auf einem Brettchen stehenden Säulchen, welche die Leitungsdrähte tragen, und einem dazwischen befindlichen verstellbaren Tischchen. Die beiden Säulchen sind von Glas, und haben oberhalb eine messingene Fassung, in welcher die Leitungsdrähte der Länge nach verschoben und zugleich in verschiedene Neigung gebracht werden können. Dieselben müssen zugleich in den erhaltenen Richtungen befestigt werden können und es läßt sich dieses sehr einfach auf die in Fig. 343 und 344 in der Hälfte der natürlichen Größe abgebildete Weise erreichen. Das Stück *a a*, in welchem der Draht verschoben wird, dreht sich um die Schraube *c* zwischen dem Kopfe *b b*; da sowohl *a a* als *b b* eingesägt sind, so wird durch das Anziehen der Schraube *c* das ganze System in beliebiger Stellung befestigt. Die Enden der Drähte

Fig. 342



müssen nicht nothwendig Kugeln haben, man kann ihr Ende auch nur gehörig abrunden; dagegen ist es für das Einspannen von dünnen Drähten sehr bequem, wenn sie, wie in Fig. 345, eine feine Oeffnung haben, in welcher der Draht durch eine kleine Druckschraube befestigt werden kann.

Fig. 343.

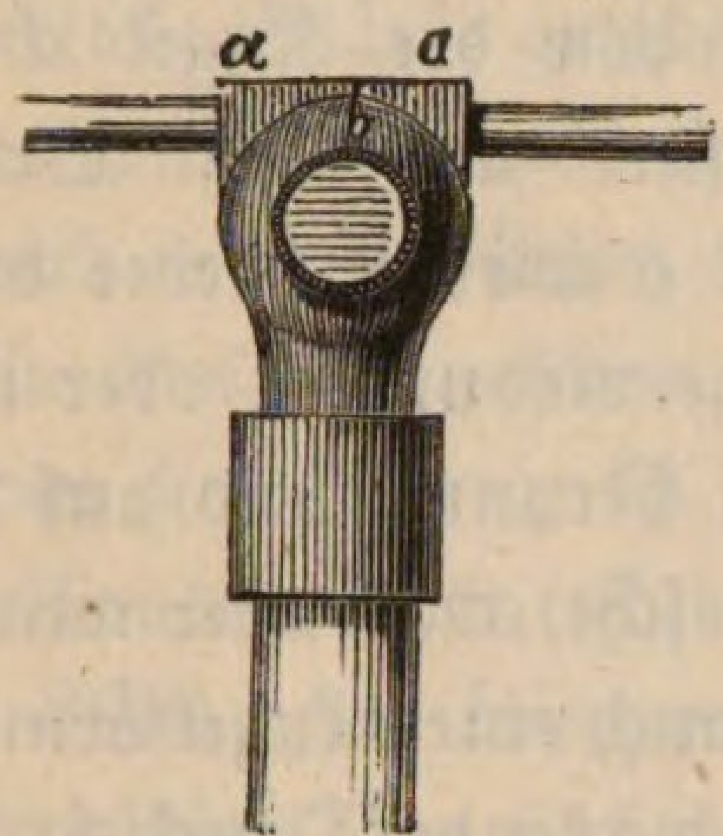


Fig. 344.

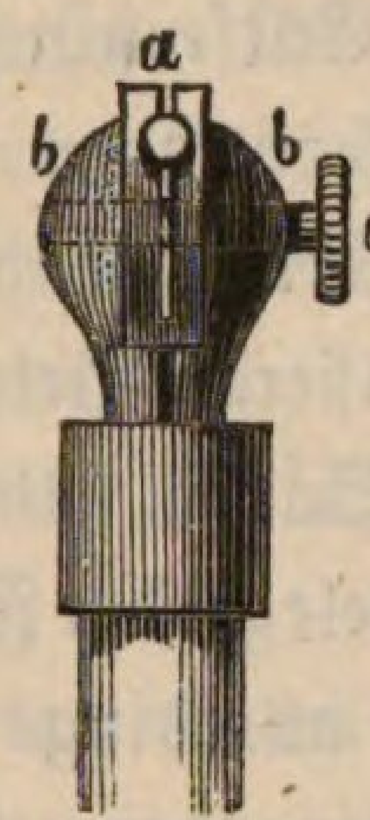
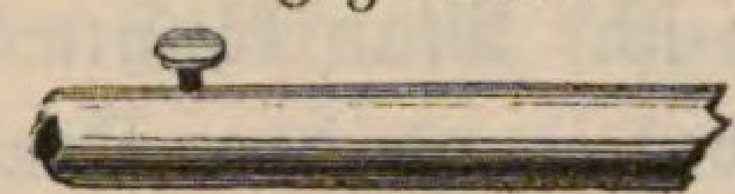


Fig. 345.



Das Tischchen braucht nicht isolirt zu sein, doch ist es für einige Versuche bequem, eine Glasplatte zu haben, von der Größe des Tischchens. Ebenso ist es für einige Versuche bequem, wenn sein Stiel von Messing ist, und durch die Platte des Tischchens hindurch reicht. Zum Entladen kann man sich des bereits erwähnten in einer Glasröhre steckenden mit einer Kugel versehenen Drahtes und einer Kette bedienen.

Das Auslade-Elektrometer oder die **Maaßflasche** von Lanne. 226
Man nimmt dazu eine Flasche von etwa $1 - 1\frac{1}{2}$ Maaß (1—2 Liter) Gehalt, reinem und sehr dünnem Glase; sie wird bis auf einen Zoll vom Rande belegt, da sie nie für hohe Spannung gebraucht werden soll, und es daran liegt, sie so hoch zu belegen, daß sie viel eher eine Selbstentladung über den Rand, als durch das Glas erfährt. Es ist nämlich sehr vortheilhaft, wenn man hier immer dieselbe Flasche — dasselbe Ladungsmaaß hat. Der Deckel der Flasche muß aufgekittet werden, weil der Knopf zu ihr eine unveränderliche Stellung haben muß. Diese Flasche kommt mit ihrem Fuße aus Pappe auf einen für sie etwa einen Viertelszoll tief ausgedrehten hölzernen Boden, Fig. 346, zu stehen und auf denselben Boden befestigt man auch die hölzerne Säule *a*, Fig. 347, auf welcher sich eine hölzerne, durch eine Schraube anzuziehende Klemme *b* befindet, die in Fig. 348 von

Fig. 346.

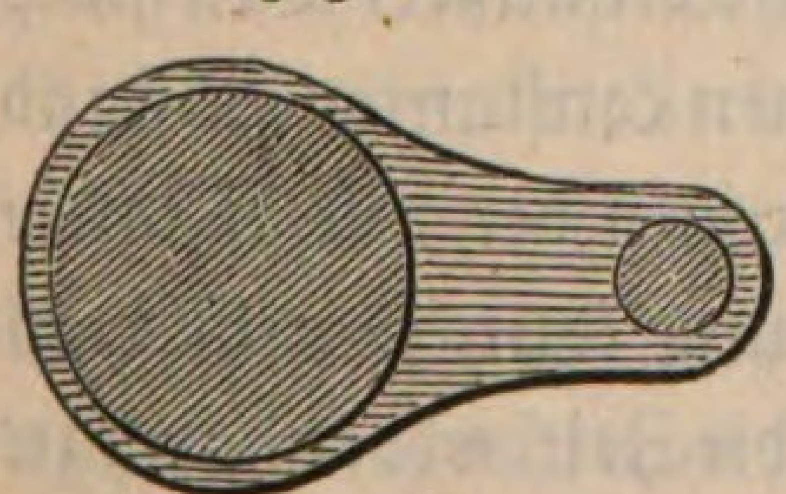


Fig. 347.

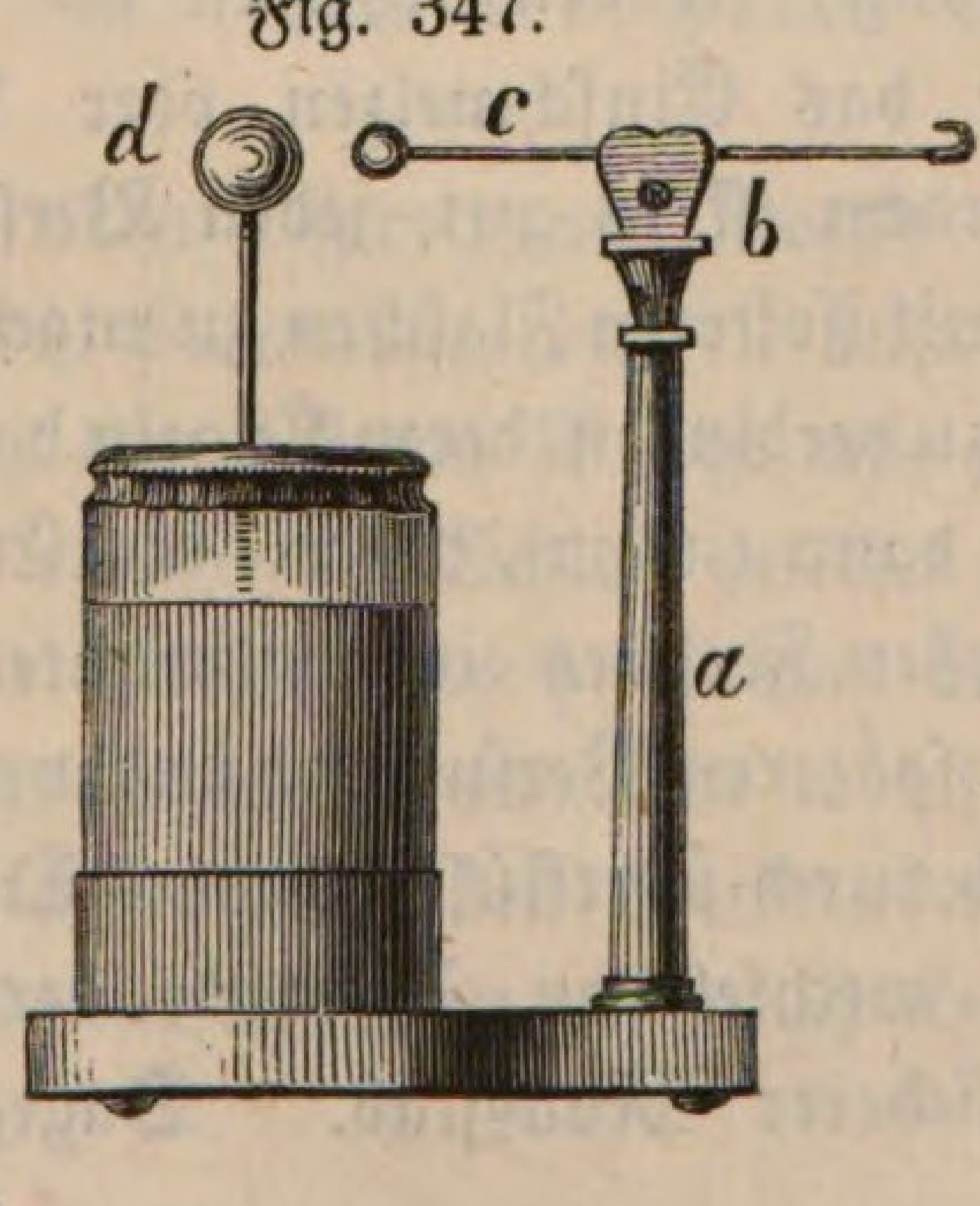
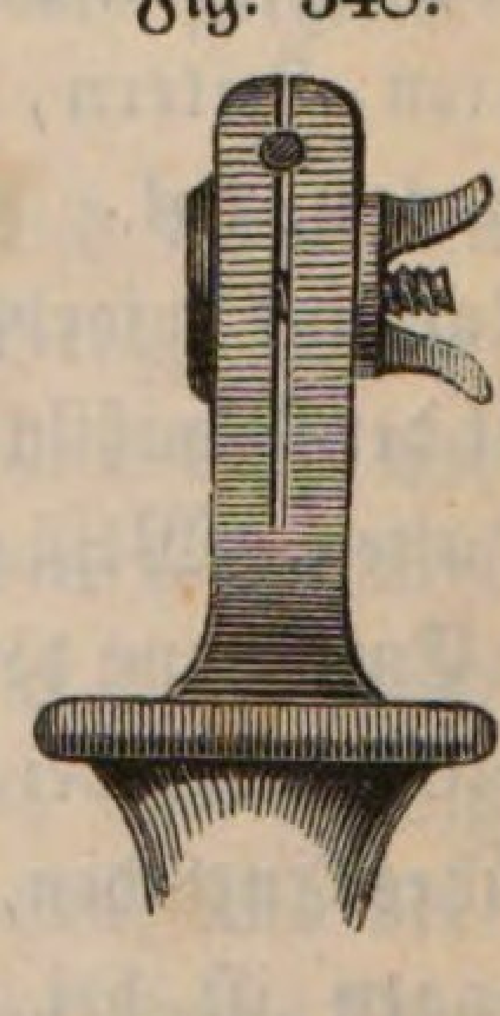


Fig. 348.



vorne und in der Hälfte der natürlichen Größe abgebildet ist; sie ist durchbohrt, um den einerseits mit einer Kugel versehenen liniendicken Messingdraht *c* aufzunehmen und in jeder Entfernung von der Kugel *d* der Flasche fest zu halten. Diese Entfernungen sind auf dem Drahte selbst von Linie zu Linie verzeichnet. Der Draht *c* wird entweder durch einen dünnen Messingdraht mit dem äußeren Belege verbunden, oder man führt einen Stanniolstreifen von der Säule selbst herunter und auf dem hölzernen Fuße fort bis zum äußeren Belege der Flasche, was aber weniger zweckmäßig ist. Man könnte der Säule allerdings auch einen kugelförmigen Aufsatz geben, und den Draht durch eine darauf wirkende Druckschraube feststellen; allein dann müßte die Kugel doch von Metall sein, weil der Draht *c* durch eine Druckschraube in einer hölzernen Kugel bald verbogen würde.

Die Ladung einer Flasche oder Batterie wird durch die Lanne'sche Flasche auf die Weise gemessen, daß man die Flasche oder Batterie isolirt, und das innere Belege der Lanne'schen Flasche mit dem äußeren der Batterie verbindet, während der Knopf des Drahtes *c* in einer sehr kleinen Entfernung ($\frac{1}{2}$ — 2 Linien) von dem Knopfe *d* der Flasche sich befindet. Wenn hiebei in zwei verschiedenen Fällen gleich viele Funken übergegangen sind, so haben die geladenen Flaschen gleich viel gebundene Elektricität, ihre Zahl und Größe mag beschaffen sein wie sie will. Man kann auch den Zustand der Elektrisirmaschine durch die Lanne'sche Flasche untersuchen, indem man zu verschiedenen Zeiten vergleicht, wie viel Umdrehungen für eine Entladung bei der nämlichen Schlagweite erforderlich sind. Ebenso kann man zwei Elektrisirmaschinen mit einander vergleichen, jedoch natürlich nur in Bezug auf Quantität.

227 **Versuche mit der Flasche.** Allgemeine Bemerkungen. Im Allgemeinen ist hiebei zu bemerken, daß man wohl unterscheiden müsse zwischen Versuchen, welche hohe Spannung, und solchen, welche große Quantität erfordern; zu den ersteren gehören alle mechanischen Wirkungen, wie etwa Glasdurchbohrung, zu den letzteren die Erregung von Wärme in guten Leitern, wie das Einschmelzen oder Verbrennen von Gold auf Glas u. dgl. Außerdem ist es gut, jeden Versuch, der langes Drehen der Maschine erfordert, mit isolirten Flaschen zu machen, und die äußere Belegung mit der Maaßflasche zu verbinden, deren Kugeln dann einen constanten Abstand erhalten. Weiß man dann einmal, bei wie viel Entladungen der Maaßflasche die Entladung der großen Flaschen eine bestimmte Wirkung thut, so geht man weit sicherer bei den späteren Versuchen, und verliert die Zeit weder durch zu frühes Entladen, noch durch überflüssig langes Drehen. Die Zahl der Umdrehungen ist bei dem wechselnden Zustande der Atmosphäre und anderen Einflüssen kein so sicherer Maaßstab. Dagegen ist das Henley'sche

Quadraten-Elektrometer, wenn es während der Ladung auf dem Conductor steht, schon ein viel sichererer Anzeiger, ob eine bekannte Flasche auf die erforderliche Stärke geladen sei. Ob man mit freier positiver oder mit freier negativer Elektricität ladet, ist gleichgültig; wenn die Maschine beide gibt, so wird man natürlich die stärkere wählen, welche sehr oft die negative ist, da für diese, wie schon erwähnt, einige Quellen des Verlustes nicht vorhanden sind, wie z. B. der Verlust, welcher unterwegs vom Reibzeug zu dem Conductor stattfindet.

Will man übrigens zu einem bestimmten Zwecke mit freier negativer Elektricität laden und hat an der Maschine nur positive, so braucht man nur die Flasche beim Knopfe anzufassen und die freie positive Ladung in die äußere Belegung übergehen zu lassen, während man die Flasche frei in der Hand hält, oder auf einem Isolirschemel stehen hat. Jedenfalls stellt man sie nach geschehener Ladung auf den Isolirschemel, und faßt sie dann am äußeren Belege. Die Ladung wird dadurch zwar in etwas geschwächt, allein man hat nun die auf dem inneren Belege freie negative Elektricität, was für Hervorbringung Lichtenberg'scher Figuren, wovon später, brauchbar ist.

Immer scheint der Funke bei der Entladung von jener Seite auszugehen, wo freie Elektricität angehäuft ist.

Zur Verbindung des Conductors mit dem inneren Belege der Flaschen nimmt man zwei Linien dicken Messingdraht, den man an beiden Enden hakenförmig umbiegt und wohl abrundet. Man muß solche Haken von verschiedener Länge vorräthig haben, auch wird es gut sein, bei einzelnen die beiden Haken rechtwinkelicht zu einander zu stellen, anstatt beide in derselben Ebene zu biegen. Wollte man bei der inneren Belegung dünnen Draht anwenden, so würde man auch bei nur einiger Spannung beträchtlichen Verlust erleiden, wie man sich leicht durch die Lanne'schen Maaßflasche überzeugen kann, indem man eine isolirte Flasche einmal durch einen gewöhnlichen dicken und das andere Mal durch einen feinen Draht mit dem Conductor verbindet, und die Umdrehungen zählt, die zu einer Entladung der Maaßflasche in beiden Fällen nach und nach bei steigender Spannung nöthig werden.

Ketten müssen zu dem eben besprochenen Zwecke gänzlich vermieden werden; dieselben sind sehr wohl brauchbar, um die äußeren Belege zu verbinden, sowie zur Verbindung des äußeren Belegs mit dem Auslader und der verschiedenen Theile, durch welche der Schlag geleitet werden soll, unter sich. Man nimmt dazu, wie bereits erwähnt, von den für die Uhrengewichte gebräuchlichen, ganz einfachen und sehr wohlfeilen, nur wenig über den Preis des Messingdrahtes zu stehen kommenden Ketten, und versieht jedes Stück derselben beiderseits mit einem Haken aus etwas stärkerem Drahte.

Was die Entladung im Allgemeinen betrifft, so ist noch zu bemerken, daß der Erfolg in sehr vielen Fällen davon abhängt, daß man die Kugel des Entladers der Kugel der Flasche rasch nähert, gleichsam einen Schlag dagegen führt; es ist die Vorsicht um so zweckmäßiger, wenn die Kraft der Ladung nur nothdürftig für den beabsichtigten Versuch ausreicht.

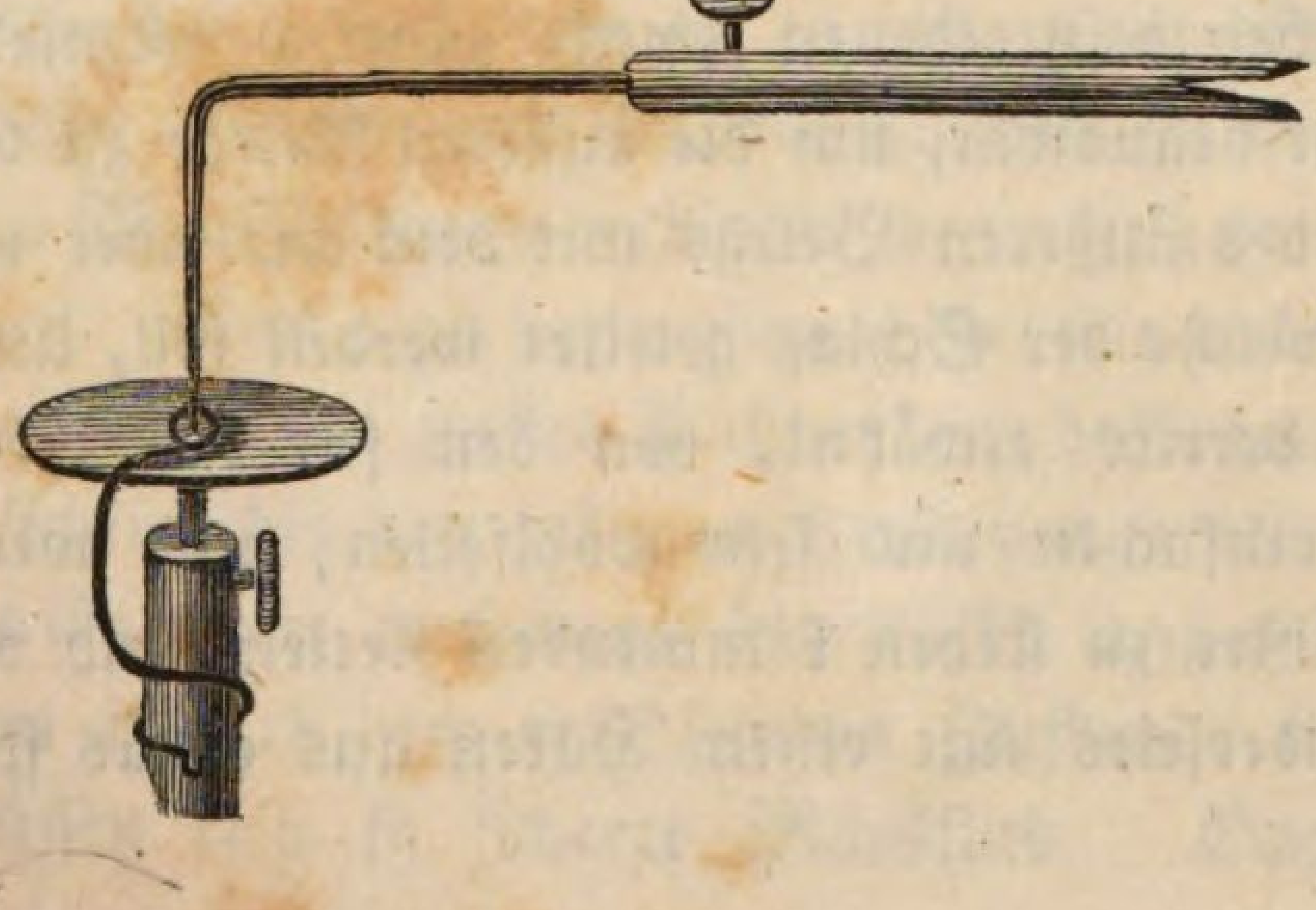
228 **Einzelne Versuche mit der Leidner Flasche.** 1) Papier durchbohren. Einzelne Kartenblätter werden von sehr schwachen Ladungen durchbrochen. Man legt nur das Kartenblatt an die äußere Belegung und hält die eine Kugel des Ausladers, Fig. 340 und 341 darauf, während man die andere dem Knopfe der Flasche nähert. Sollen mehrere Kartenblätter durchbohrt werden, so stellt man sie bequemer auf den Tisch des Henley'schen Ausladers zwischen dessen beide Kugeln.

2) Glas durchbohren. Für diesen Versuch ist hohe Spannung die Hauptsache, man kann ihn ohne Anstand mit einer einzelnen Flasche von nur 70—80 Quadratzoll äußerer Belegung durchsetzen, wenn dieselbe 6—8 Zoll unbelegten Rand hat, und man eine Maschine verwenden kann, welche etwa 2 Zoll lange Funken gibt; während man bei geringer Spannung, d. h. bei nur 3—4 Zoll unbelegtem Rande, vorausgesetzt, daß in beiden Fällen bis nahe zur Selbstentladung geladen wird, mit 4 und noch mehr Quadratfußbelegung damit durchaus nicht zu Stande kommt. Jedenfalls muß man aber eine 6 Zoll breite Glasplatte von gewöhnlichem Fensterglase dazu nehmen, weil sonst der Schlag die Platte umgeht.

Man verfährt dabei am einfachsten so, daß man um das Tischchen des Henley'schen Ausladers einen Draht schlingt und das eine Ende desselben auf die Mitte des Tisches reichen läßt, während das andere in einen Haken endigt und mit dem äußeren Belege verbunden wird. Ist der Stiel des Tischchens von Metall und geht er durch das Tischchen durch, so braucht man nur die Kette vom äußeren Belege an den Stiel anzuhängen.

Auf das Tischchen kommt dann die Glasplatte, welche in der Mitte etwa 1—2 Zoll breit mit Oel bestrichen wird, um die Oberfläche noch weniger leitend zu machen; der Mitte des Tischchens gegenüber wird ein spitziger in den einen Conductor des Entladers eingeschraubter oder daran gebundener Draht so auf die Glasplatte gesetzt, daß er mit einiger Federkraft sanft dagegen drückt. Figur 349 zeigt diese Zusammenstellung ohne die Glasplatte.

Fig. 349.



Das andere Ende des Conductors wird durch eine Kette mit dem Auslader, den man in der Hand hat, verbunden und mit letzterem dann der Knopf der Flasche berührt, wie es Fig. 342 zeigt.

3) Bei Holz wird ebenso verfahren, doch ist es zweckmäßig, dasselbe auf beiden Seiten zu firnissen.

4) Glasröhren zu sprengen, erfordert eher etwas größere Quantität der Ladung, geht übrigens sehr leicht. Man führt durch zwei in eine Glasröhre passende Korkstöpsel Messingdrähte, die beiderseits in Ringe gebogen werden, füllt die Glasröhre vollständig mit Wasser und drückt die Stöpsel hinein, Fig. 350. Die Drahtringe erhalten im Inneren einen Abstand von 2—3

Fig. 350.



Linien, und das Ganze wird in die mit dem äußeren Belege und dem einfachen Entlader verbundene Kette eingeschaltet. Da die Splitter der Glasröhre mitunter, wenn auch nur ausnahmsweise, fortgeschleudert werden, so wird es gut sein, hiergegen irgend eine Vorkehrung zu treffen. Selbst offene Gläser können durch den elektrischen Funken gesprengt werden, für welchen Versuch aber eine ziemlich starke Ladung und 3—4 Quadratfuß Belegung erforderlich sind. Man versieht hiezu ein gewöhnliches kleines Kelchglas mit zwei gebogenen Drähten, Fig. 351, welche durch ihre Federkraft am Glase haften und außerhalb in Ringe, innerhalb in Kügelchen enden (Schrotkörner Nr. 0 steckt man daran); diese erhalten wieder 2—3 Linien Abstand und das Glas wird dann mit Wasser gefüllt. Der Schlag zertrümmert es meistens, doch wird es auch manchmal gerade da, wo der Kelch an den Stiel ansetzt, abgebrochen, wenn der Uebergang plötzlich gemacht ist und nicht allmälig, wie die Figur zeigt.

Fig. 351.

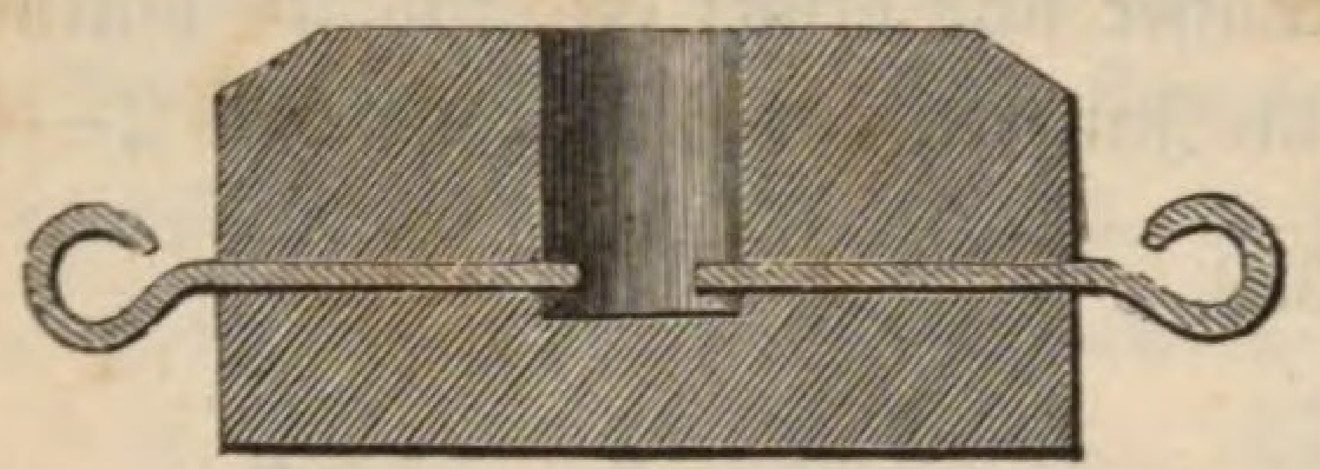


4) Schmelzen von Eisendraht. Dieser Versuch wird bei schwächeren Apparaten immer nur dann gelingen, wenn man sich den Eisendraht viel dünner macht, als er im Handel vorkommt. Man legt zu dem Zwecke ein etwa 3 Zoll langes Stück in Salpetersäure so, daß seine Enden etwa $1/2$—1 Zoll herausstehen und läßt ihn zu beliebiger Feinheit abätzen; man wäscht ihn nachher mit vielem Wasser, trocknet ihn mit Fließpapier und befestigt seine noch dicken Enden in die Conductoren des allgemeinen Ausladers. Es gehört aber auch

dann noch eine gute Ladung dazu, wenn der Draht geschmolzen werden soll, doch geht es bei Maschinen von 1—2 Zoll Schlagweite mit 8—4 Fuß äußerer Belegung.

5) Schießpulver=Entzünden. Man bohrt in ein Klötzchen von hartem Holze mit einem Centrumbohrer ein Loch von etwa $1/2$ — 1 Zoll Weite und 1 Zoll Tiefe, steckt durch kleinere Löcher zwei etwa liniendicke, gut in die Löcher passende Messingdrähte hinein, welche etwa 2 Linien Abstand erhalten. Fig. 352. Das Pulver wird lose eingeschüttet und ein Korkpfropf mäßig fest unmittelbar darauf gesetzt. An den einen der Drähte bindet man einen 3—5 Zoll langen, gut durchnäßten gewöhnlichen Bindfaden, und erst an diesen die Kette des Ausladers, der andere Draht hat diese Unterbrechung nicht nöthig. Ohne diese Vorsicht gelingt der Versuch durchaus nicht. Die Ladung muß etwa dieselbe sein, wie bei Nr. 4 angegeben wurde.

Fig. 352



Schießbaumwolle wird auf dieselbe Weise behandelt; man hat dabei nur dafür zu sorgen, daß dieselbe auch zwischen die Drähte komme; sie bedarf übrigens kaum $1/4$ der für Schießpulver erforderlichen Ladung, und der Versuch eignet sich für die allerschwächsten Maschinen.

6) Gold auf Glas einschmelzen. Man läßt vom Buchbinder auf ein Streifchen ebenes Glas einen Streifen Gold, wie Fig. 353 auflegen. Man kann dieses zwar selber auch auf die Weise machen, daß man das behauchte Glas auf den Rand eines Goldblattes legt und dann längs dem Rande des Glases mit einem etwas geballten, scharfen und recht reinen und trockenen Messer einen Schnitt macht; was hiedurch zu viel an Gold auf das Glas kommt, schabt man wieder weg. Das Glas wird sodann durch einen zweiten Glasstreifen bedeckt und zwischen zwei Filzlappen, deren einer an beiden Enden mit Stanniol belegt ist, der bis zum Glase reicht, in die kleine Presse, Fig. 354 gebracht. Diese besteht aus zwei Brettchen mit zwei oder

Fig. 353.

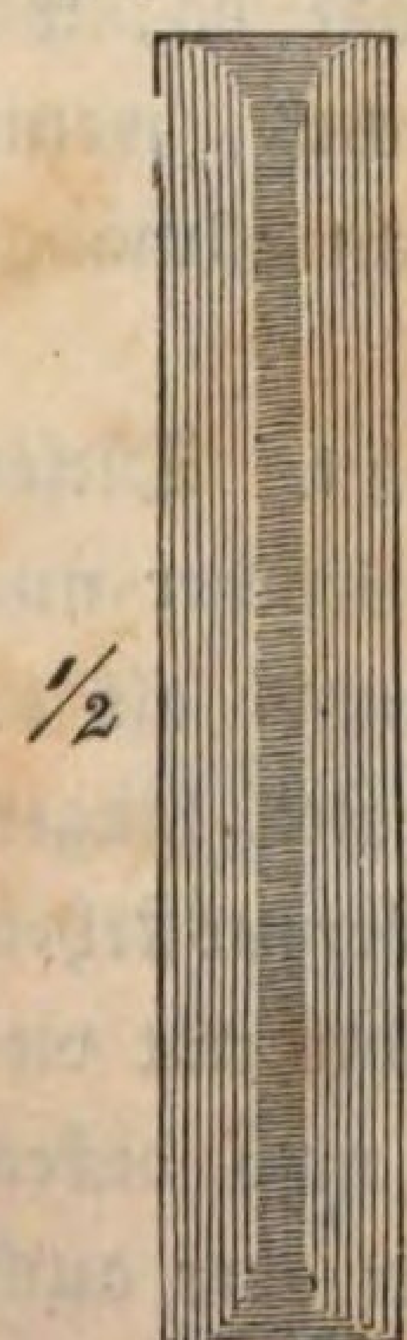
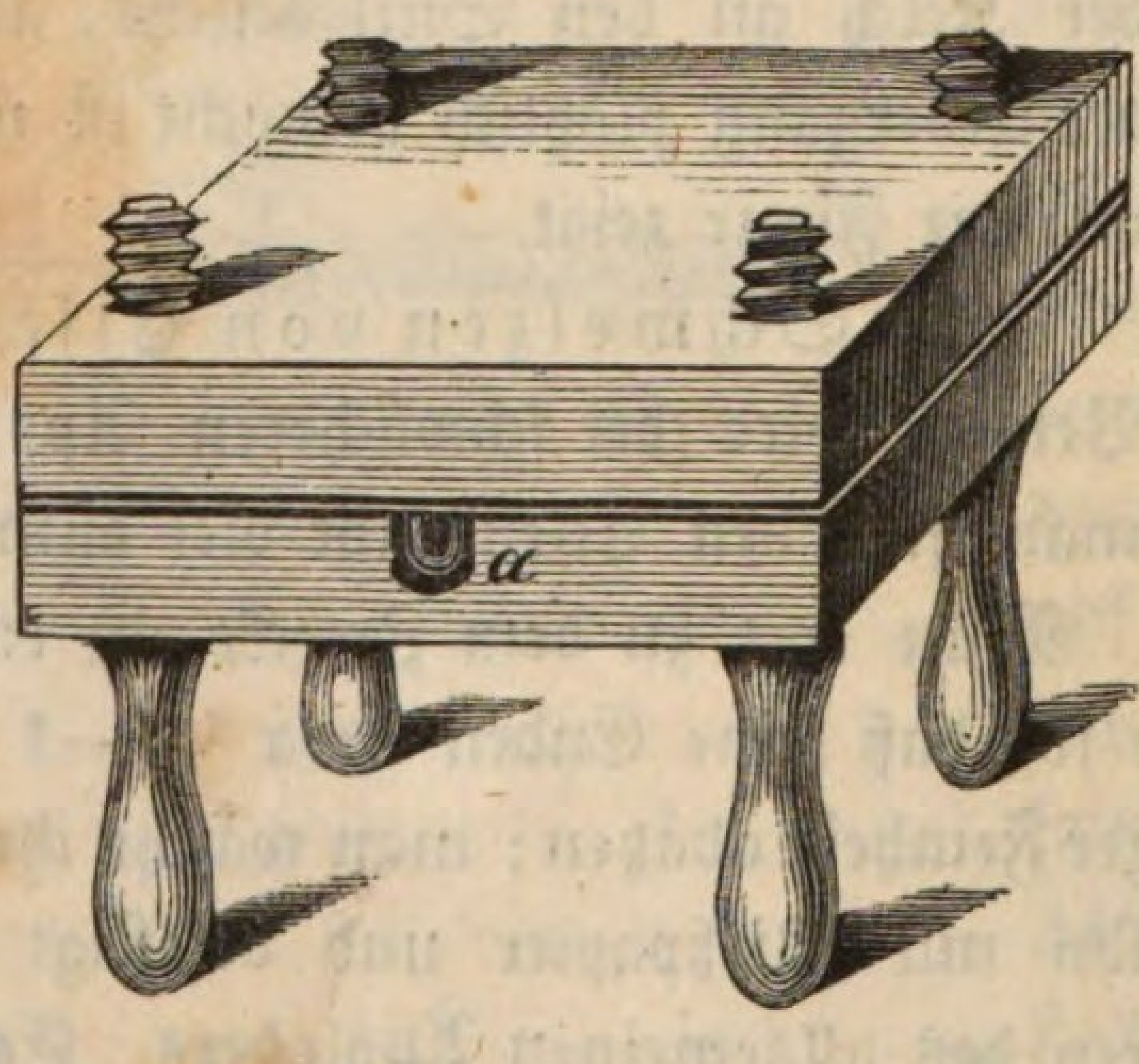


Fig. 354.



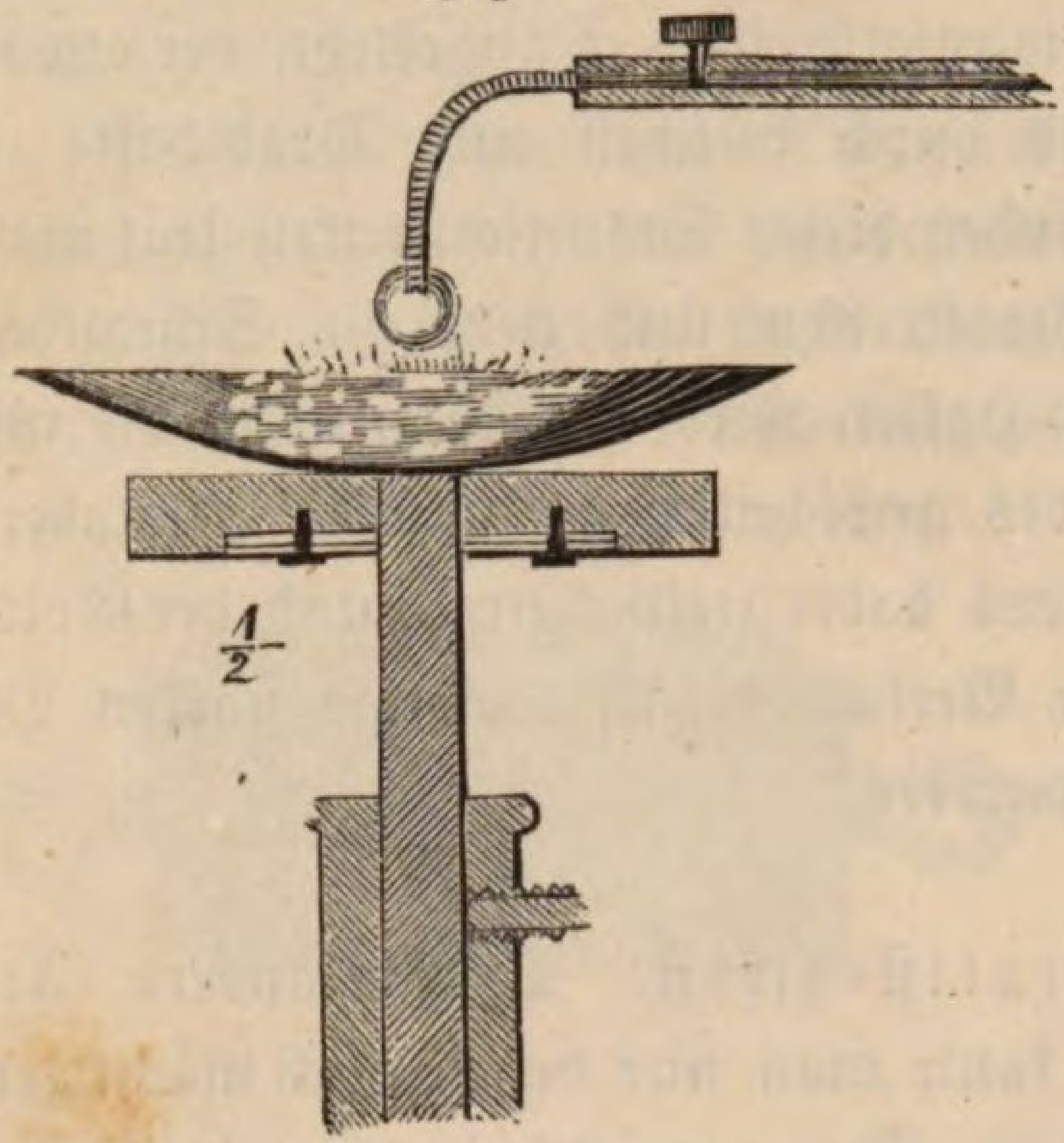
vier hölzernen Schrauben, welche zugleich als Füße dienen und deren Muttern in eines der Brettchen geschnitten sind. An zwei gegenüberstehenden Seiten des einen Brettchens ist ein Stanniolstreifen *a* angeklebt, der etwas auf die innere Fläche hineinreicht, und durch welchen eine Drahthafte in das Brettchen geschlagen ist. Auf die Enden dieser Stanniolstreifen legt man die Filz- oder Tuchlappen mit den Glasstreifen und zieht die Schrauben ganz mäßig an. Mittelst der beiden Haften wird der Apparat in die mit dem äußeren Belege verbundene Kette des gewöhnlichen einfachen Ausladers eingeschaltet. Die Gläser werden meistens dabei zerschmettert und der Goldpurpur zeigt sich auf dem Glase. Der Versuch bedarf keiner so starken Ladung, wie die Entzündung des Schießpulvers.

7) Verbrennen dünner Metallstreifen. Drähte anderer Art als von Eisen oder Platin zu schmelzen, kann man nur bei ziemlich mächtigen Maschinen und großen Batterien versuchen. Dagegen gibt ein etwa 1/4 Linien breiter Streifen von ganz feinem Stanniol einen Versuch, der auch mit schwächeren Apparaten ausführbar ist. Ein solches Streifchen von 1—2 Zoll Länge wird in die Leitstäbe des allgemeinen Ausladers befestigt und der Schlag durchgeleitet. Es verbrennt und die Dämpfe des Oxyds bilden leicht weiße Wölkchen. Ebenso kann der Metallüberzug auf Streifchen von ächtem und unächtem Gold und Silberpapier verbrennt werden; doch erfordert namentlich unächtes Goldpapier schon eine etwas stärkere Ladung. Wenn man die Streifen zwischen zwei weiße Papiere in die kleine Presse Fig. 354. legt, so daß ihre Enden zwischen den Papieren etwas hervorragen und auf den Stanniol der Presse reichen, so hinterlassen sie farbige Striemen auf dem Papiere.

8) Entzündung von Kolophonium. Man pulvert das Kolophonium fein und mengt es innig unter einen Wisch roher Baumwolle von der Größe einer großen Wallnuß, indem man die Baumwolle in dem Pulver wiederholt umkehrt, nach allen Richtungen verzupft und wieder zusammenballt. Auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers legt man dann eine flache Schaale von Metall oder ein Blech, welches mit der äußern Belegung verbunden wird; geht der metallene Stiel des Tischchens durch dieses, so braucht man nur die Kette von der äußern Belegung am Stiele anzuhängen. Auf dieses Blech legt man die Baumwolle in mäßig lockerem Zustande und richtet die Kugel des einen Leitdrahtes am Auslader so, daß sie noch etwa 1—2 Linien von der Baumwolle absteht. Hat der Auslader an seinen Leitungsdrähten keine Kugeln, so schraubt man eine kleine Kugel mit gebogenem Stiele in den einen derselben, wie Fig. 355 (a. f. S.) zeigt; der gewöhnliche Auslader wird sodann mit seiner Kette an diesen Leitungs-

draht gehängt und die Flasche so durch die Baumwolle entladen. Man bedarf hiezu einer viel geringeren Ladung, als zur Entzündung von Schießpulver.

Fig. 355.



Wickelt man die Baumwolle um den etwas langen Docht einer Wachskerze, so kann diese dadurch entzündet werden, wenn man sie auf das Tischchen zwischen beide Kugeln des **Henley**'schen Ausladers stellt.

9) Eine brennende, zwischen den Drähten des Ausladers befindliche Kerze wird durch den Schlag ausgelöscht; eine kurz vor der Entladung gelöschte aber durch einen sehr starken Schlag wieder entzündet.

10) **Das Donnerhaus.** Man macht ein kleines Thürmchen *a a*, Fig. 356, von Holz mit einem abnehmbaren Spitzdache, durch welches die beiderseits in Knöpfe (Bleikugeln) endigende Leitung *c d* bis nahe zu der am Boden befindlichen mit Weingeist oder Aether gefüllten Schaale *e e* geht, welche durch die Leitung bei *F* mit der äußeren Belegung verbunden ist. Ein mäßiger Schlag zündet.

Ebenso kann man ein solches Thürmchen mit leichtem Dache mit einer blechernen elektrischen Pistole versehen, Fig. 357, wo dann der Propf der Flasche das Dach wegschlägt. Versieht man oben das Thürmchen mit einer bei *a* und *b* Fig. 358 wohl verbundenen Ableitung, deren Theile bei der Biegung leicht federnd in einander gesteckt sind, wie Fig. 359 zeigt,

Fig. 356.

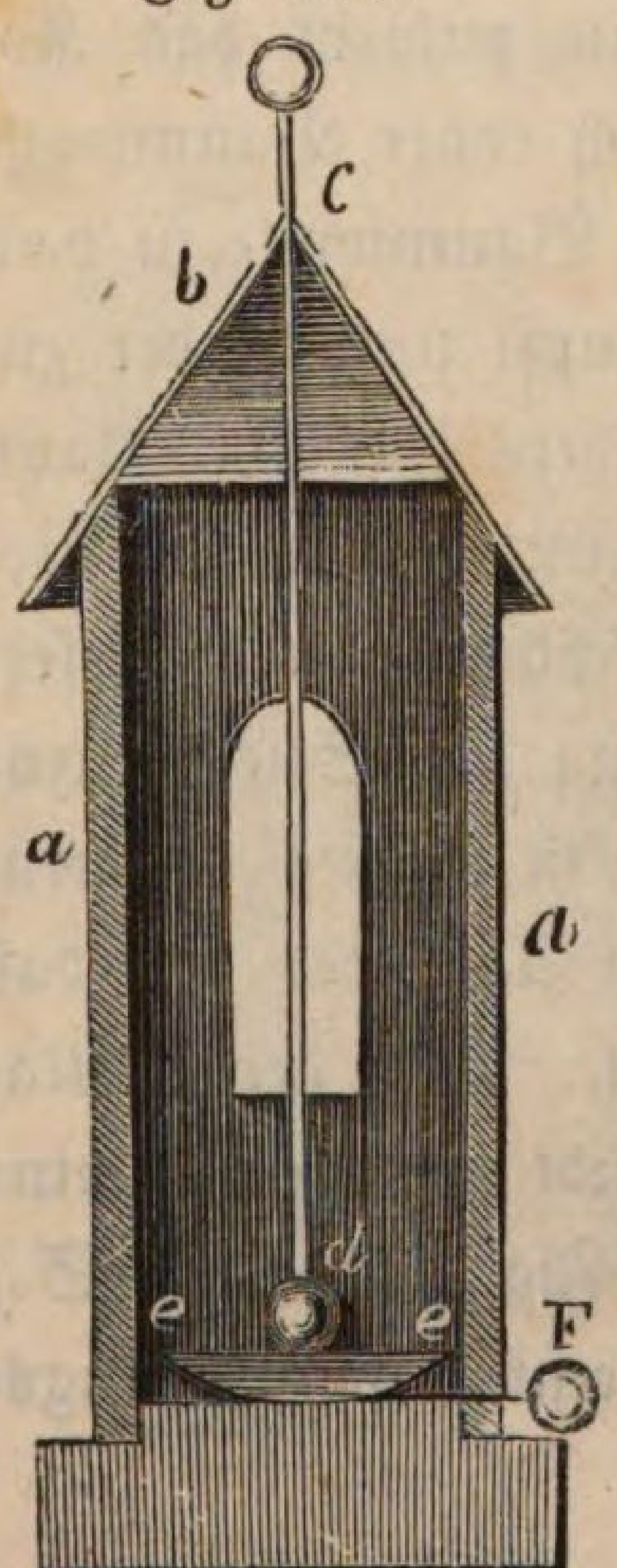


Fig. 357.

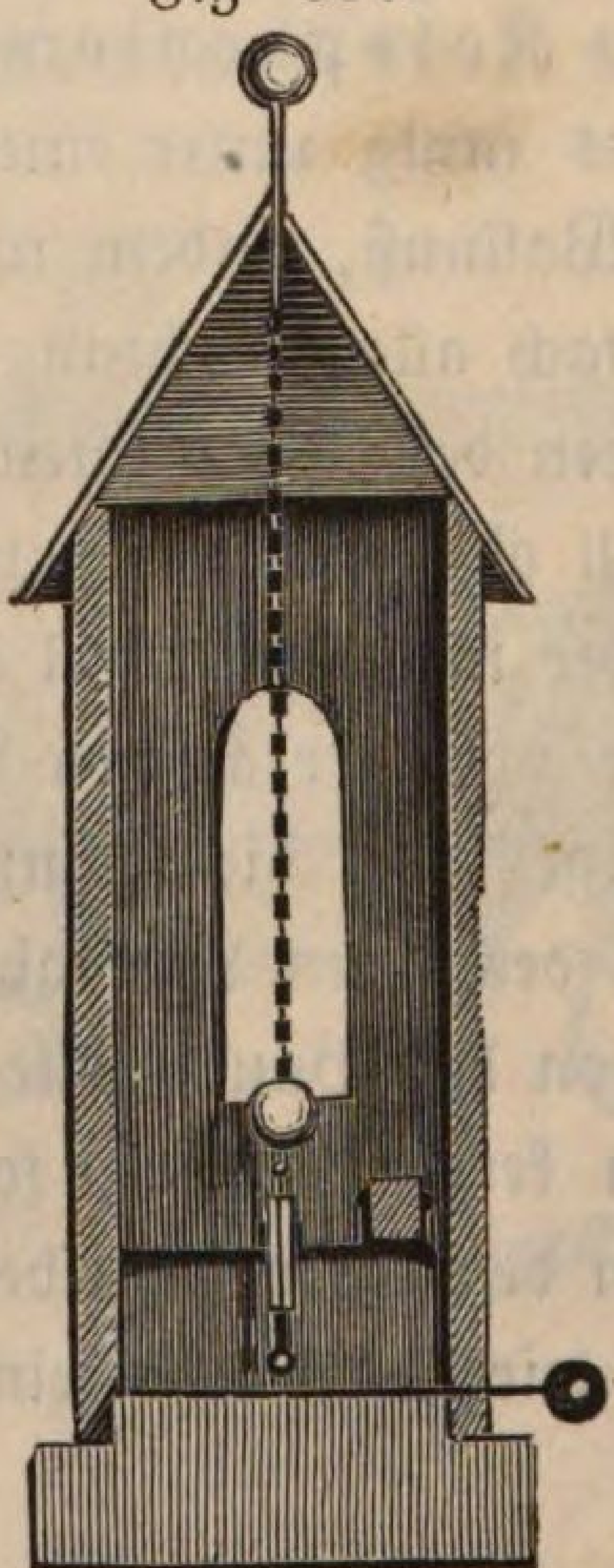


Fig. 358.

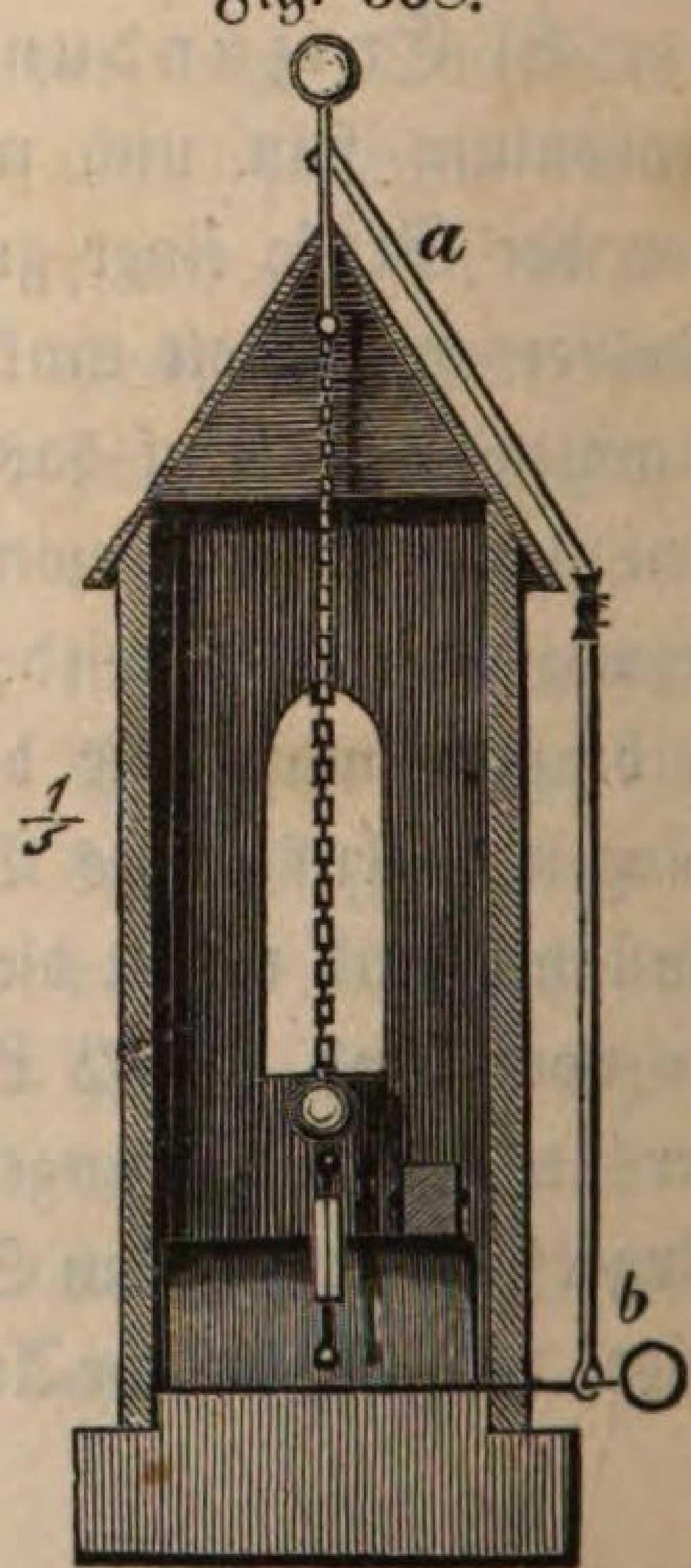
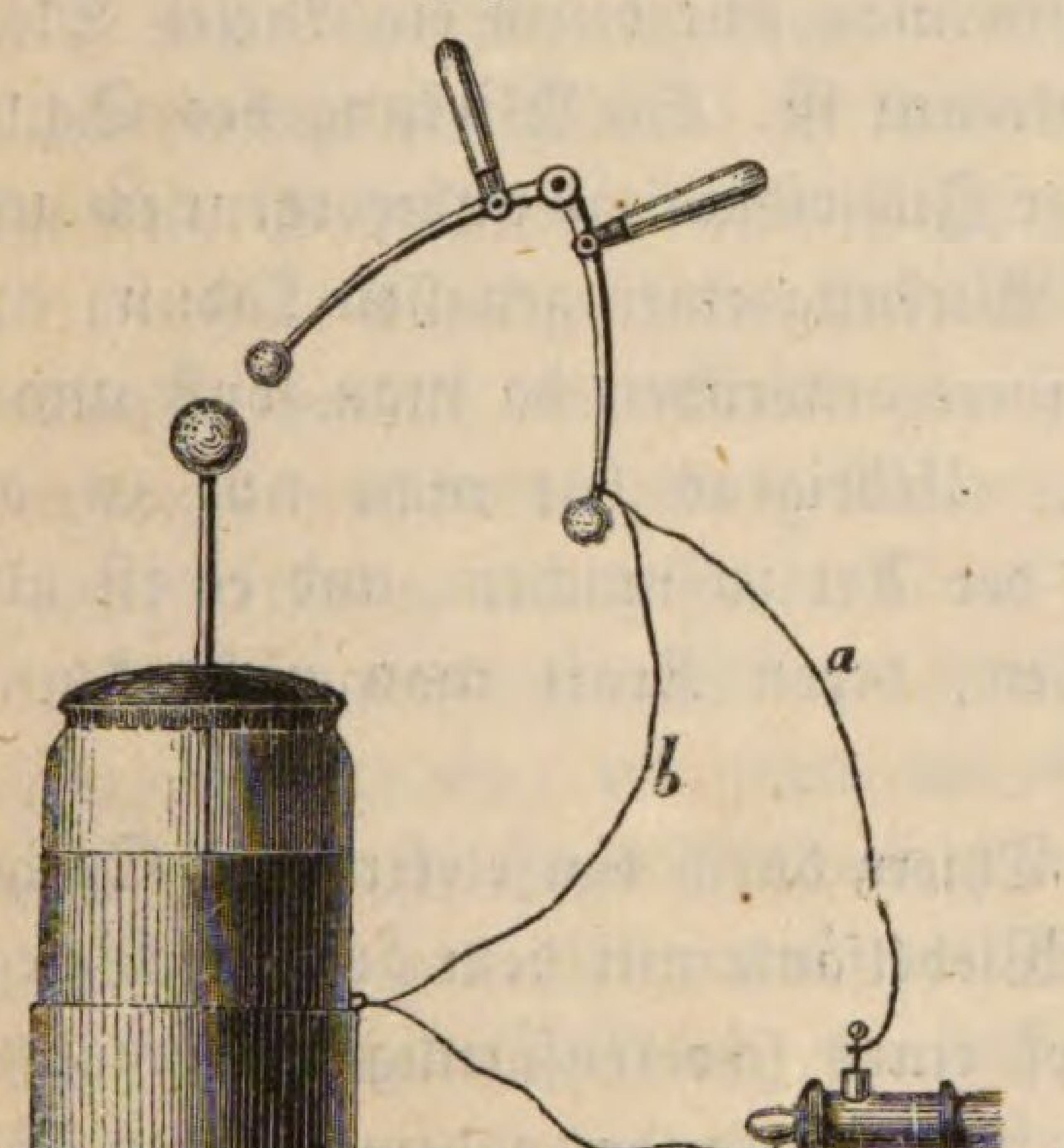


Fig. 359.



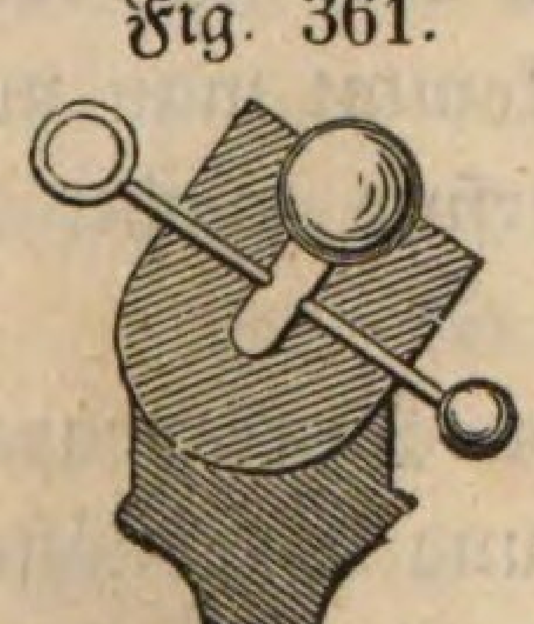
so wird das Knallgas nicht entzündet, wenn die Ableitung dick genug ist, um die schwache Ladung gut zu leiten. Ist aber zwischen *b* und *a* ein zu dünner Draht eingeschoben, so theilt sich auch bei ganz guter Verbindung die Entladung und das Knallgas wird doch entzündet. Bei der Entladung hängt man die Kette des Ausladers an den Draht auf der Spitze des Daches. Die Pistole darf jedenfalls nur wenig Gas fassen. Der letzte Versuch ist namentlich für die Lehre vom Blitzableiter instructiv; derselbe kann aber auch ohne die Spielerei mit dem Thürmchen, wobei die Verbindung der Ableitung umständlich ist, weil das Dach weggeschleudert wird, ganz einfach so angestellt werden, daß man an dem gewöhnlichen scheerenförmigen Auslader, Fig. 360, zwei Drähte *ab* befestigt, wovon der eine *a* an den Knopf der Pistole, der andere *b* aber unmittelbar zum äußeren Belege der Flasche geführt wird, während auch die Pistole selbst mit diesem verbunden ist. Wird *b* hinlänglich stark genommen, so entzündet sich die Pistole nicht, wohl aber, wenn *b* ein dünner Draht ist. Man muß den Draht *b* etwas kurz nehmen und ihn beim Versuche gespannt halten, damit überall Berührung stattfindet, auch darf die Schlagweite in der Pistole nicht zu klein sein.

Fig 360.



11) Der elektrische Mörser. Man bohrt in ein abgedrehtes Stückchen Buxholz, wie es etwa Fig. 361 in $1/3$ der natürlichen Größe vorstellt, ein Loch, welches oben halbkugelförmig erweitert wird, um eine darein passende kleine Kugel von Elfenbein, Holz, Kork, Hollundermark aufzunehmen, welche lose darin sitzt, aber doch die Oeffnung der Röhre da, wo sie aufsitzt, gut schließt. Zwei Leitungsdrähte von der Dicke einer Linie reichen bis in die Höhlung etwa in der Mitte der Länge derselben, und werden mittelst ihrer Ringe in die am einfachen Auslader und dem äußern Belege befestigte Kette eingeschaltet. Die Kugel wird je nach ihrem Gewichte und der Stärke der Ladung sehr lebhaft herausgeschleudert. Mit Hollundermark geht dieser instructive Versuch auch bei sehr mäßigen Apparaten. Da es sich bei derartigen Versuchen nicht um das Messen der Wirkungen, sondern nur um die Art derselben handelt, so kann man das

Fig. 361.



complicirtere sogenannte Thermometer von Kinnerslei hiebei wohl entbehren.

12) Wirkung auf Menschen und Thiere. Will man den Schlag durch eine Reihe von Menschen leiten, so gibt man dem letzten die mit der äußeren Belegung verbundene Kette in die Hand und läßt den ersten mit dem Knopfe des Ausladers den Knopf der Flasche berühren, während alle unter einander mit irgend einem Theile des Körpers, am besten mit den Händen, in Berührung sind. Die Kette am äußeren Belege muß überflüssig lang sein, damit die Flasche nicht etwa herunter gerissen wird. Je größer die Zahl der Personen ist, desto stärker muß die Ladung sein. Die Wirkung nimmt indessen gegen die Mitte der Reihe hin doch etwas ab, weil ein Theil der Ladung durch den Boden geht. Deswegen muß man sich auch hüten, dem inneren Belege oder den damit verbundenen Theilen einer stark geladenen Flasche zu nahe zu kommen, wenn man nur durch ein kurzes Stück des Fußbodens vom äußeren Belege getrennt ist. Die Wirkung des Schlages auf die Menschen ist je nach ihrer Individualität außerordentlich ungleich, auch muß man wenigstens die Wirkung einer gewissen Ladung auf sich selbst kennen, ehe man sie auf Andere anwendet, da man sonst unangenehme Folgen herbeiführen könnte. Uebrigens hat man nur zu oft unfreiwillig Gelegenheit, Erfahrungen der Art zu machen, und es ist also nur bei solchen Maschinen und Flaschen, deren Kraft man nicht kennt, besondere Vorsicht zu empfehlen.

Will man den Versuch machen, Thiere durch den elektrischen Schlag zu tödten, so setzt man das Ende der Wirbelsäule mit dem äußeren Belege in Verbindung, hält den einen Knopf eines scheerenförmigen Ausladers auf den Kopf des Thieres, während man den anderen dem inneren Belege rasch nähert, um so die Entladung durch Gehirn und Rückenmark zu leiten. Katzen oder andere Thiere von dieser Größe können aber nur durch ziemlich starke Apparate getödtet werden. Bei Vögeln kommt man noch eher zum Ziele, wenn man überhaupt einen solchen Versuch machen zu müssen glaubt.

13) Für die Erklärung der Wirkung der galvanischen Zitterapparate und ihren Zusammenhang mit der physiologischen Wirkung der Leidnerflasche ist auch folgender Versuch interessant. Man stellt die Knöpfe der Lanne'schen Maaßflasche so, daß sie nur sehr wenig ($1/3$ — $1/2$ Millimeter) von einander abstehen und setzt die Person, welche den Schlag erhalten soll, oder eine ganze Reihe von Personen einerseits mit dem äußeren Belege der Flasche, andererseits mit dem Drahte *c*, Fig. 347, in Verbindung, während man die Verbindung dieses Drahtes mit dem äußeren Belege unterbricht. Eine einzelne Entladung wird kaum empfunden;

dreht man aber die Maschine fort, so folgen sich in äußerst kurzer Zeit nach einander zahlreiche Entladungen, und der Erfolg ist ganz derselbe, wie er sich z. B. an Inductionsapparaten bei Anwendung des Blitzrades zeigt.

14) Will man die Einwirkung des elektrischen Stromes der Leidnerflasche auf die Magnetnadel zeigen, so entladet man dieselbe durch einen Multiplicator mit sehr langem, wenn auch dünnem Drahte (100 — 200 Windungen), wobei indessen die Vorsicht anzuwenden ist, daß man, wie bei der Entzündung des Schießpulvers, einige Zolle einer nassen hänfenen Schnur in den Schließungsbogen bringt; man bedarf dabei nur einer ganz mäßigen Ladung.

15) Langsame Entladung einer Flasche. Dieser Versuch ist sehr geeignet, die Wirkung der Spitzen anschaulich zu machen. Man hängt eine Kette an die äußere Belegung, hält ihr Ende zwischen den Fingern mit einer feinspitzigen Nadel zusammen und nähert die letzteren langsam dem Knopfe der Flasche, sie wird langsam entladen, wobei man im Dunkeln die Nadelspitze leuchten sieht.

16) Elektrische Hauchbilder. Man legt auf ein Stativ eine Münze, darauf ein Stück gewöhnliches sauber abgewischtes Fensterglas und auf dieses eine zweite Münze, so daß also die beiden Münzen gleichsam die Belege einer Franklin'schen Tafel bilden.

An die untere Münze schiebt man einen am Ende in einen Ring gebogenen Draht, der gegen die obere umgebogen wird, so daß sein Ring noch etwa eine Linie Abstand von der Münze hat. Das Stativ stellt man unter den Conductor der Elektrisirmaschine, und läßt von diesem eine Kette auf die Münze herabhängen. Wird die Maschine gedreht, so folgen rasch nach einander Selbstentladungen des kleinen Apparats; nach einigen Hundert derselben nimmt man ihn auseinander, und die beiden Münzen zeigen sich beim Behauchen des Glases auf demselben abgebildet. Man sieht diese Bilder nach öfterem Abwischen manchmal nach vielen Monaten noch auf dem Glase, wenn es wieder behaucht wird.

Der Elektrophor. Der Elektrophor wird gewöhnlich selbst ange- 229
fertigt, und man verfährt dabei auf folgende Weise. Die Form wird entweder von Holz oder von Blech gemacht; im ersteren Falle wird um ein wohl abgerundetes und getrocknetes Brett von festem Holze (etwa $1/2$ Zoll dick) eine hölzerne Zarge genagelt, welche den Boden um 2 — 3 Linien (6 — 9 Millimeter) überragt, und hierauf das Ganze mit unächtem Goldpapier oder Stanniol allseitig überzogen. Blecherne Formen sind viel leichter Verbiegungen ausgesetzt als hölzerne und dehnen sich auch durch die Wärme mehr aus, wodurch der Kuchen bald Risse nach allen Richtungen erhält. Holz leidet besonders von der Feuchtigkeit, namentlich

in der Richtung senkrecht zu den Fasern, dagegen kann man dasselbe aber größten Theils schützen durch gehöriges Ausdörren und Bestreichen mit heißem Oelfirniß; es wirft sich wohl bei dieser Behandlung etwas, wird aber dann nochmals mit dem Hobel gerichtet und wieder gefirnißt.

Die Harzmasse besteht hauptsächlich aus Schellack, dem man Terpenthin und Wachs, Harz, Kolophonium ꝛc. beisetzen soll. Allein, wenn man einerseits billig in Zweifel ziehen kann, ob denn wohl je die verschiedenen Mischungsverhältnisse wirklich ein Ergebniß vielfältiger Erfahrungen seien, so sind andererseits auch die Ingredienzien in sich widersprechend. Was sollen wohl Harz, Kolophonium und Terpenthin zugleich nützen, da doch Kolophonium nur der von seinem Terpenthinöl befreite Terpenthin und dazu noch eine sehr spröde Substanz ist? Ohne Zweifel ist Schelllack an sich die geeignetste Substanz, und sie bedarf daher nur eines Zusatzes, um sie weniger spröde zu machen. Dieser Zweck wird vollkommen erreicht durch eine Mischung von 5 Schelllack, 1 Terpenthin und 1 Wachs, und würde wahrscheinlich auch erreicht werden durch 5 Schelllack und 1 Wachs. Gewiß ist, daß die obigen Verhältnisse eine gehörige feste, nicht spröde und sehr elektrische Masse geben, ohne daß deswegen behauptet werden soll, sie sei die beste.

Zu dem Schmelzen nimmt man ein neues irdenes Geschirr oder auch eine messingene Pfanne, und setzt zuerst die leichtflüssigeren Bestandtheile, Terpenthin und Wachs, über mäßigem, ringsum gleichem Feuer in Fluß; erst dann setzt man nach und nach unter Verstärkung des Feuers und fleißigem Umrühren das Schelllack zu, wobei man immer erst abwartet, bis das schon Zugesetzte wenigstens breiig weich geworden ist. Setzt man nämlich das Schelllack zu schnell der Hitze aus, so verwandelt es sich leicht in eine fernerhin fast unschmelzbare Masse.

Vor dem Gusse muß die Form gehörig eben gestellt und etwas erwärmt werden, damit die Masse nicht zu schnell erkaltet. Die Form wird eben voll gegossen. Blasen werden dabei auf der Oberfläche nicht leicht vermieden, allein sie finden sich doch meist nur am Rande herum und werden dadurch unschädlich gemacht, daß man durch ein darüber gehaltenes glühendes Eisen dieselben schmilzt, wodurch ihr hervorstehender Theil verschwindet, und sie nur noch ein Grübchen mit nach Innen abgerundetem Rande bilden. Solche Stellen schaden nur dadurch, daß sie zur Wirkung des Elektrophors weniger beitragen, als wenn sie eine ebene Fläche bildeten. Statt die Blasen nieder zu schmelzen, kann man dieselben auch mit einem scharfen Instrumente eben scheiden, was obige Masse sehr gut verträgt.

Solche Elektrophore bekommen wegen der ungleichen Ausdehnung der Form und der Masse sehr bald Risse, und zwar die hölzernen parallel

mit den Holzfasern, blecherne nach allen Richtungen. So lange diese Risse nicht gar zu zahlreich sind, vermindern sie wohl die Wirkung, machen aber das Instrument nicht unbrauchbar. Wird indessen zuletzt die Wirkung zu schwach, so muß man die Masse umschmelzen, was durch ein etwas größeres glühendes Stück Eisen geschehen kann, welches in der Entfernung von 1 Zoll etwa über dem Kuchen herumgeführt wird. Ein zu einer Pflugschar bestimmtes Stück ist dazu sehr bequem. Sonst befestigt man auch ein Stück Eisenblech, das größer ist als die Form in der gleichen Entfernung von 1 Zoll über dem Elektrophor und legt glühende Kohlen darauf; hierbei muß man sich aber namentlich vor der Asche hüten, welche die Fläche verunreinigt.

Bei dem Umschmelzen bilden sich häufig wieder frische Blasen, welche, wie schon angegeben, entfernt werden.

Diese Uebelstände lassen sich vermeiden, wenn man den Harzkuchen frei und ohne Form hat; beim Gebrauche wird er dann nur auf ein sehr ebenes Brett, das mit Stanniol überzogen ist, gelegt. Um solche Kuchen zu gießen, legt man nur eine Form mit Papier aus und gießt die Masse hinein. Beide Seiten derselben werden nachher mit Sand und Wasser auf einer Stein- oder Glasplatte eben geschliffen, wozu man zuletzt feineren Sand nimmt. Man kann dieselben, wenn man will, mittelst eines mit Filz bezogenen Brettchens mit Trippel und Wasser poliren, was aber für die Wirkung ganz unnöthig ist. Der Rand kann mit dem Messer und der Feile abgerundet werden. Die Blasen kann man hier wegschleifen, allein auch dieses ist überflüssige Arbeit, man nimmt die reinere Seite, welche beim Gusse unten war, beim Gebrauche als die obere.

Bei der Aufbewahrung muß ein solcher Kuchen auf seinem Brette horizontal liegen bleiben, weil er sich in der Sommerwärme durch sein eigenes Gewicht biegen könnte.

Eine sehr gute Elektrophormasse ist Gutta-Percha. Man kann jede dünne Platte verwenden und Platten von beliebiger Größe und Form zusammensetzen. Ihre Wirkung, mit Wollenzeug oder Pelz geklopft, kommt den anderen Massen gleich, sie springen nie und werden nicht theurer als Harzkuchen; wenn man Gutta-Perchapapier bekommen kann, so erhält man um wenige Groschen genug zu einem Elektrophor; es wird auf eine mit Stanniol bezogene Platte gelegt. Da Gutta-Percha überhaupt gut isolirt, so ist sie auch sonst brauchbar bei elektrischen Versuchen.

Was die Größe des Elektrophors betrifft, so muß man hierin mäßig sein. Er kann immer nur schwache Wirkung thun, und giebt namentlich beim Laden der Flaschen immer schlecht aus, wenn auch seine Schlagweite groß ist. Eine Elektrisirmaschine wird man daneben doch wohl haben, und darum wird ein Elektrophor von 10 — 15 Zoll (3 — 5 Deci-

meter) allen billigen Anforderungen entsprechen. Man kann aus einem dreizölligen mit nur zweizölligem Teller Fünkchen von einem halben Zoll Länge erhalten.

Der Deckel des Elektrophors erhält einen um etwa 2 — 4 Zoll kleineren Durchmesser als der Kuchen. Er wird entweder aus einer wohl geebneten Metallplatte (dickes Zink ist wohl am wohlfeilsten hierzu) gemacht, an welche ein aufwärts gekrümmter Rand gelöthet wird, oder aus einer hölzernen Scheibe von der Dicke eines halben Zolls, deren Rand wohl abgerundet und geglättet ist; das Holz muß gehörig trocken sein und wird mit Stanniol überzogen. Am einfachsten versieht man den Deckel mit drei seidenen Schnüren, um ihn isolirt von dem Kuchen abzuheben.

Um den Elektrophor elektrisch zu machen, peitscht man ihn mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenfelle, dessen vier Fußzipfel man in die Hand nimmt und es bei jedem Schlage über den Kuchen wegführt; im Winter muß der Elektrophor jedoch vor dem Gebrauche erwärmt werden sonst müht man sich vergeblich ab, denselben elektrisch zu machen. Ob der Kuchen hinlänglich elektrisch ist, erkennt man daran, wenn er gegen den Knöchel kleine Funken giebt. Der Deckel wird sowohl beim Aufsetzen als beim Abheben mit dem Kuchen parallel gehalten und nach dem Aufsetzen mit der Hand berührt, wobei man einen kleinen Funken erhält. Berührt man aber Form und Deckel zugleich mit Daumen und Zeigefinger, so empfindet man einen elektrischen Schlag; Gleiches findet statt, wenn man den einen Finger an die Form setzt und mit dem anderen den Funken aus dem aufgehobenen Deckel empfängt.

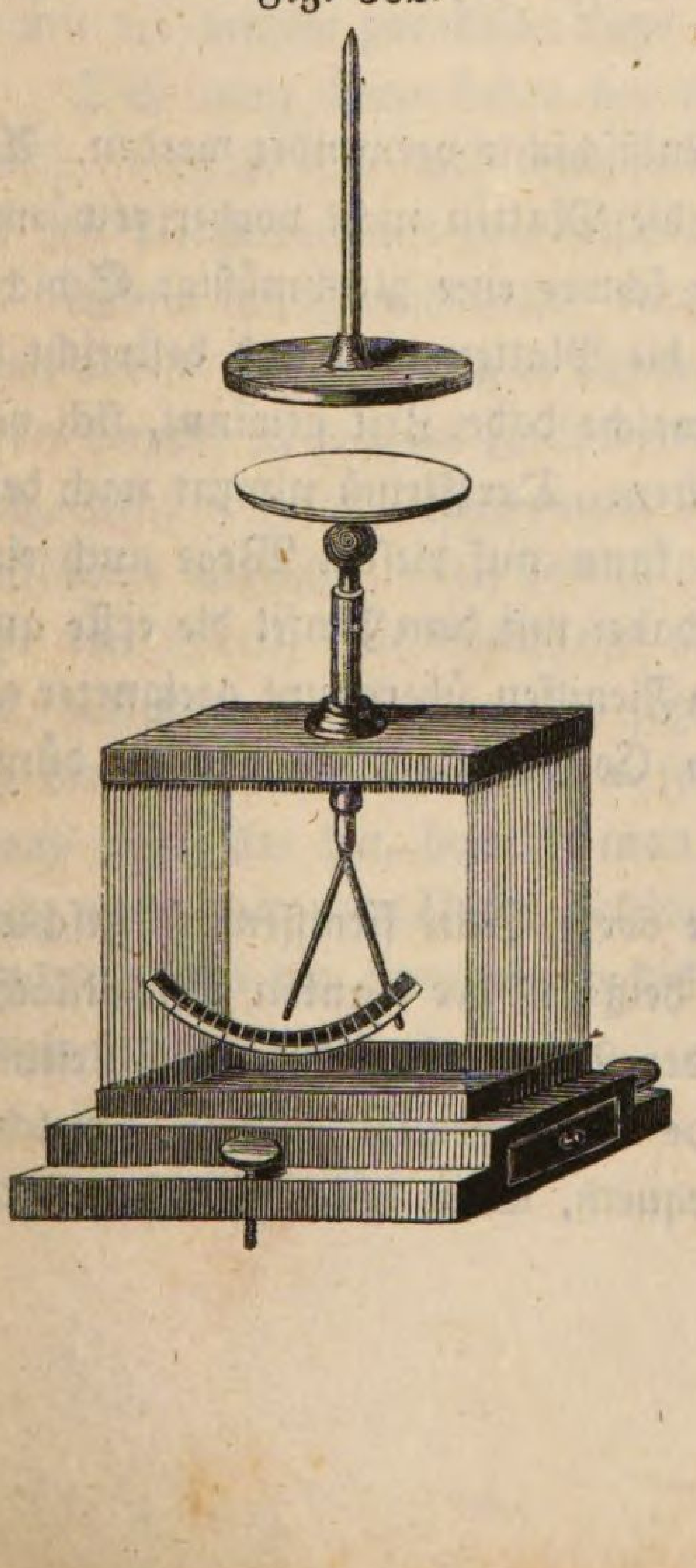
Den jeweiligen elektrischen Zustand des Deckels kann man dadurch erkennen, daß man das Elektrometer der oberen Platte von Figur 335 darauf setzt, und mit der geriebenen Siegellackstange die Probe macht. Um die Elektricität der Form zu untersuchen, kann man dieselbe isoliren. Viel besser geht dieses aber mit dem Goldblattelektrometer von Fig. 297, wenn man statt des oberen Knopfes die Condensatorplatte (s. folg. Seite) aufschraubt und einen kleinen Harzkuchen darauf legt, der einen um etwa einen Zoll größeren Durchmesser hat. Klopft man den Kuchen nur ganz leise mit einem Zipfel des Katzenfells, so divergiren die Goldblättchen und man kann nun dadurch, daß man dem unteren Knopfe, welcher mit dem gebogenen Drahte verbunden ist, die geriebene Siegellackstange nähert, die Art der Elektricität erkennen. Als Deckel benutzt man dann die zweite mit dem isolirenden Griffe versehene Condensatorplatte. Berührt man die Condensatorplatte, so fallen die Goldblätter zusammen, divergiren aber wieder, wenn man den Harzkuchen abhebt oder den Deckel aufsetzt. Berührt man die Platte nicht und setzt den Deckel auf, so fallen die Goldblätter zusammen. Den elektrischen Zustand des Deckels weist man da-

durch nach, daß man seine Elektricität entweder durch das Probescheibchen, Fig. 305, auf ein zweites Elektrometer überträgt, oder ihn durch einen Draht, der durch eine Siegellackstange isolirt ist, mit diesem verbindet. Am bequemsten dient als zweites Elektrometer das von Bohnenberger.

Obwohl ein Elektrophor aus seinem Deckel leicht zolllange Funken giebt, so ist die Quantität doch immer nur klein und es geht mit dem Laden selbst kleiner Flaschen ziemlich langsam. Indessen kann man die wesentlichen Erscheinungen der Elektricitätslehre doch alle mit diesem wohlfeilen Apparate zeigen. Hält man die geladene Flasche an das elektrische Glockenspiel, so kann man auch dieses in Bewegung setzen. Um eine Flasche negativ zu laden, hält man sie am Knopfe und läßt die Funken auf das äußere Belege gehen, wie bereits in §. 227 näher erörtert wurde.

Lichtenbergische Figuren. Man bringt dieselben einfach auf 230
folgende Weise hervor. Mit dem Knopfe einer positiv oder negativ mäßig geladenen kleinen Flasche beschreibt man, indem man sie am äußeren Belege faßt, eine beliebige Figur auf dem Kuchen eines Elektrophors und beutelt dann durch Flor Semen Lycopodii darauf, wovon man das nicht anhängende durch Blasen oder Fächern mit einem Blatt Papier wegstäubt. Die Figuren sind sehr haltbar; sie zeigen sich wieder, wenn man allen Staub weggewischt hat und frischen aufbeutelt. Mit anderen Pulvern, wie Schwefel oder Mennig, erhält man zwar auch Figuren, jedoch werden sie nicht leicht so schön wie mit Semen Lycopodii, namentlich nicht mit Mennig.

Fig. 362.

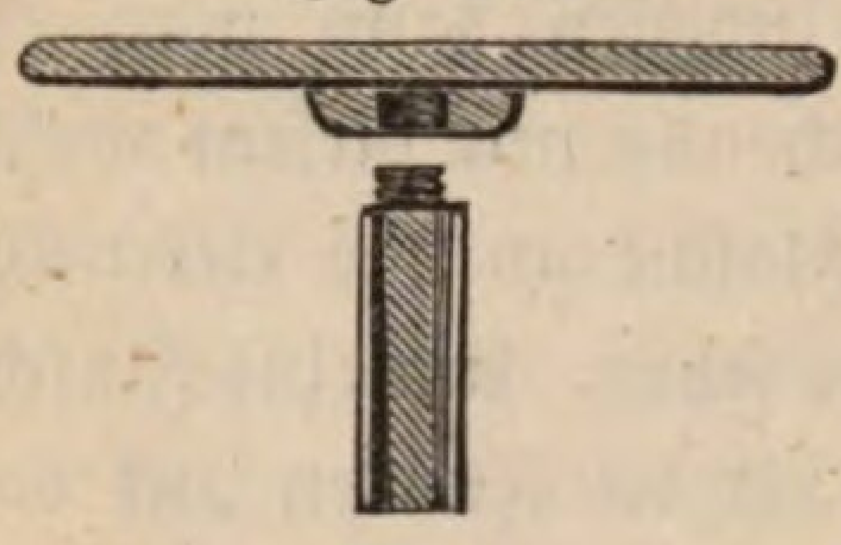


Auf einer alten, lange gebrauchten Harzfläche gelingen übrigens diese Figuren nicht gut, man sollte sie wenigstens oberflächlich frisch anschmelzen. Will man aber nur kleine Figuren, so kann man sehr zweckmäßig die Harzmasse auf ein Blech schmelzen und durch gelindes Erwärmen desselben die Masse leicht und schnell umschmelzen.

Der Condensator. Der Conden- 231
sator ist ein unentbehrliches Werkzeug und wird immer unmittelbar am Elektrometer angebracht. Am zweckmäßigsten ist es, ihn so einzurichten, daß man die eine Platte, die Basis, auf jedes der verschiedenen Elektrometer statt dem Knopfe aufschrauben kann, Fig. 362.

Man nimmt dazu Messingplatten von einer Linie (3 Millimeter) Dicke — dünnere biegen sich schon beim Bearbeiten zu leicht — und zwei Zoll Durchmesser. Es ist sehr unzweckmäßig, Platten von nur etwa 1 Zoll Breite anzuwenden, wie man sie so häufig auf den käuflichen Elektrometern findet, da die Wirkung hier rascher als die Größe der Fläche wächst. Nur bei galvanischen Versuchen findet man manchmal, daß ein größerer Condensator zu stark sei, und daß man auch noch kleinere Platten haben sollte. Auf die eine Platte wird eine Hülse gelöthet, um einen 3—4 Zoll langen Glasstab einzukitten, wenn man nicht etwa geradezu eine Siegellackstange anwenden will; die andere erhält nur eine Verdopplung aufgelöthet, worein die auf alle Elektrometer passende Schraubenmutter geschnitten wird. Fig. 363 zeigt diese Platte nebst einem Stücke des Elektrometers. Die Platten werden eben abgedreht, und dann noch auf einer Spiegelplatte mit Smirgel geschliffen; sind sie nicht gut gedreht, so kann man zuerst Goldsand nehmen; zuletzt schleift man sie mit feinem Bimssteinpulver und Wasser, wodurch sie wieder metallisches Ansehen gewinnen. Der Rand wird auf der Drehbank abgerundet. Wenn solche Condensatorplatten dünne sind, so sind sie nur schwer zu schleifen, weil sich der äußere Rand stets aufbiegt; solche Platten muß man daher für das Abdrehen und Schleifen auf ein Holzfutter kitten, welches mit ihnen von gleicher Größe ist; es dient beim Schleifen zugleich als Handhabe.

Fig. 363.

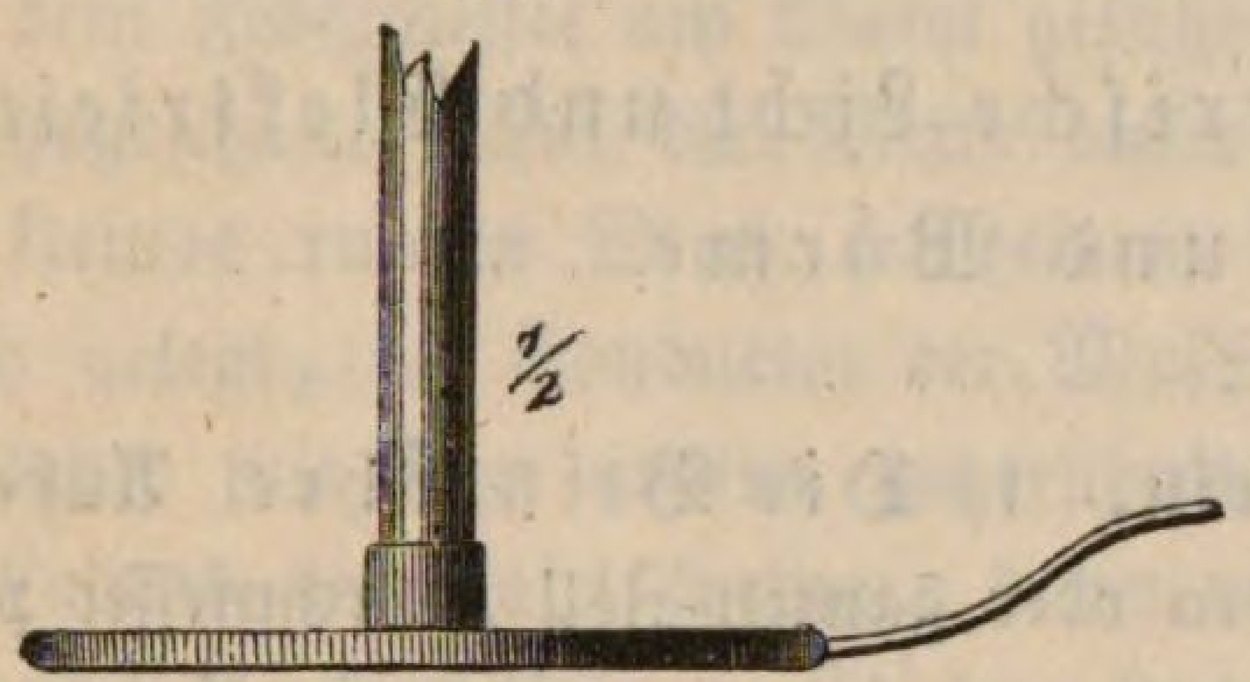


Vorzügliche Sorgfalt muß auf die Firnißschichte verwendet werden. Am besten verfährt man dabei, wenn man die Platten nicht vorher erwärmt, denn auf warme Platten wird man nur schwer eine gleichmäßige Schichte von Firniß auftragen können; man legt die Platten eben und bestreicht sie mit mäßig concentrirter Schelllacklösung, welche dabei Zeit gewinnt, sich von selbst gleichmäßig auf der Platte auszubreiten. Der Firniß nimmt nach dem Abtrocknen ebenfalls Glanz an. Man kann auf diesem Wege auch eine zweite Schichte auftragen, natürlich ohne dabei mit dem Pinsel die erste aufzureiben; ein feines Schwämmchen ist zum Firnissen überhaupt geeigneter als der Pinsel. Man muß den Firniß am Condensator nie gar zu dünne machen.

Will man auch den Rand und die obere Seite firnissen, so geschieht dieses vorher, und zwar wie gewöhnlich heiß auf der blanken Metallfläche. In diesem Falle muß aber in den Rand der Platte für Ab- und Zuleitung ein Draht mit abgerundetem freien Ende eingeschraubt werden, welcher nicht gefirnißt wird, Fig. 364. Es ist bequem, wenn beide Platten solche

Drähte erhalten; sie brauchen nur 1—2 Millimeter dick zu sein. Diese

Fig. 364.



Einrichtung dürfte stets zweckmäßiger sein, da man das Ende des Drahtes mit der Feile immer wieder rein metallisch machen kann, was mit dem Rande oder Rücken der Platten weniger der Fall ist, und doch beschmutzen sich dieselben bei der öftern Berührung — oft absichtlich mit feuchtem Finger — leicht, was dann sowohl der Wirkung nachtheilig ist, als dem Ansehen. Ein guter Condensator muß eine schwache Ladung bei gutem Wetter mindestens 12 Stunden lang halten.

Da man für galvanische Versuche auch Condensatorplatten von Kupfer und Zink braucht, so kann man sogleich die eine Platte aus Kupfer, die andere aus Zink machen und auch die Stäbchen aus diesen Metallen verfertigen, da für andere die Art der Metalle gleichgültig ist. In diesem Falle müssen aber dann beide Platten mit einer Schraubenmutter versehen werden. Als Griff verwendet man eine einerseits zugeschmolzene Glasröhre, in welche ein mit einer Schraube versehenes Drahtstück eingekittet wird. Man füllt dabei die ganze Glasröhre mit Siegellackstückchen, die man über der Weingeistlampe zerlaufen läßt, so daß die Röhre innen mit Siegellack ganz überzogen ist.

Beim Abheben der obern Platte muß man darauf sehen, daß dieses in mit der untern paralleler Lage geschieht.

Daß man beim Laden der einen Platte die andere ableitend berühren müsse, versteht sich wohl von selbst. Einzelne Vorsichtsmaßregeln werden bei den Versuchen mit galvanischer Elektricität vorkommen.

Wenn die Firnißschichte eines Condensators elektrisch geworden ist, so bleibt dieselbe oft Tagelang in diesem Zustande und veranlaßt arge Täuschungen. Man kommt in solchem Falle beinahe am kürzesten weg, wenn man dieselbe einige Mal in einiger Entfernung über der Flamme einer messingenen Weingeistlampe wegführt, oder, sobald dieses nichts helfen sollte, wenn man geradezu den Firniß mit Weingeist abwäscht und ihn neu aufträgt, vorausgesetzt, daß man den Condensator sogleich gebrauchen will; mit der Zeit verliert sich der Uebelstand freilich von selbst. Ob der Condensator schon Ladung irgend einer Art hat, bemerkt man daran, daß das Elektrometer Elektricität zeigt, wenn man den Deckel ableitend berührt und den Deckel wieder abhebt. Man darf bei der Anwendung des Condensators nie versäumen diese Probe vorher zu machen.

C. Versuche über das elektrische Licht und Elektricität durch Druck und Wärme.

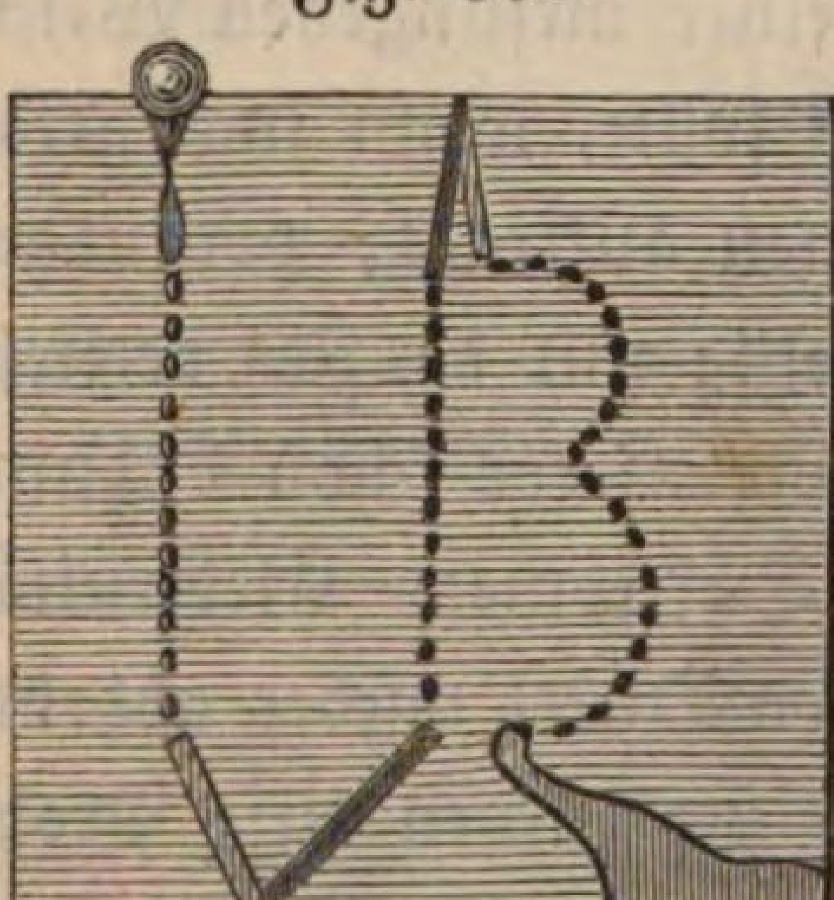
232 Fig. 365.



Versuche im Dunkeln. 1) Die Blitzröhre. Auf eine Glasröhre von einem halben oder ganzen Zoll Durchmesser paßt man einerseits einen halbkugelförmig endenden Holzpfropf, der mit Stanniol überzogen wird, und von da aus werden in einer weiten Spirale, deren Gänge an zwei Zoll Abstand haben, kleine, rautenförmige Stückchen Stanniol aufgeklebt, deren Spitzen gegeneinander gekehrt sind und um $\frac{1}{2}$—1 Millimeter von einander abstehen; die große Diagonale dieser Stückchen hat gewöhnlich nur 3—5 Millimeter Länge. Fig. 365. Die Röhre wird mit der Hand gefaßt und dem Conductor so weit genähert, daß reichliche volle Funken auf den Knopf derselben überspringen, die sich dann auf allen Unterbrechungen der Spirale wiederholen. Um das zufällige Abstreifen der Stanniolstückchen zu verhüten, pflegt man manchmal die Röhre in eine zweite hineinzustecken und erst in diese Knopf und Griff zu befestigen.

2) Der leuchtende Name. Auf eine Glastafel setzt man mittelst eines Einschnittes eine kleine hölzerne mit Stanniol überzogene Kugel und von ihr aus rautenförmige Stückchen Stanniol in einem beliebigen Namenszuge, oder in einer andern beliebigen Figur. Soll an einer Stelle kein Leuchten stattfinden, so wird hier ein ganzer Stanniolstreifen aufgeklebt; einen ähnlichen Streifen führt man von dem Ende der Figur an das dem Knopfe gegenüberliegende Ende der Tafel, wo sie mit der Hand gehalten wird. Da aber der Funke auf der Tafel selbst ziemlich große Zwischenräume überspringt, um auf dem kürzesten Wege zur Hand zu gelangen, so muß man eine weitzügige Figur wählen, und einen Theil der Leitung auf der untern Fläche des Glases anbringen. Fig. 366 zeigt ein Muster einer solchen Tafel, bei welcher die stark schattirten Theile auf der untern Fläche angebracht sind.

Fig. 366.



3) Die Blitztafel. Man belegt eine beliebig große Tafel von Fensterglas beiderseits bis auf einen Abstand von etwa 2 Zollen vom Rande mit Stanniol und schwärzt die eine Belegung mit Tusche. Diese Belegung wird, nachdem sie gehörig auf dem Glase angetrocknet ist, in rau-

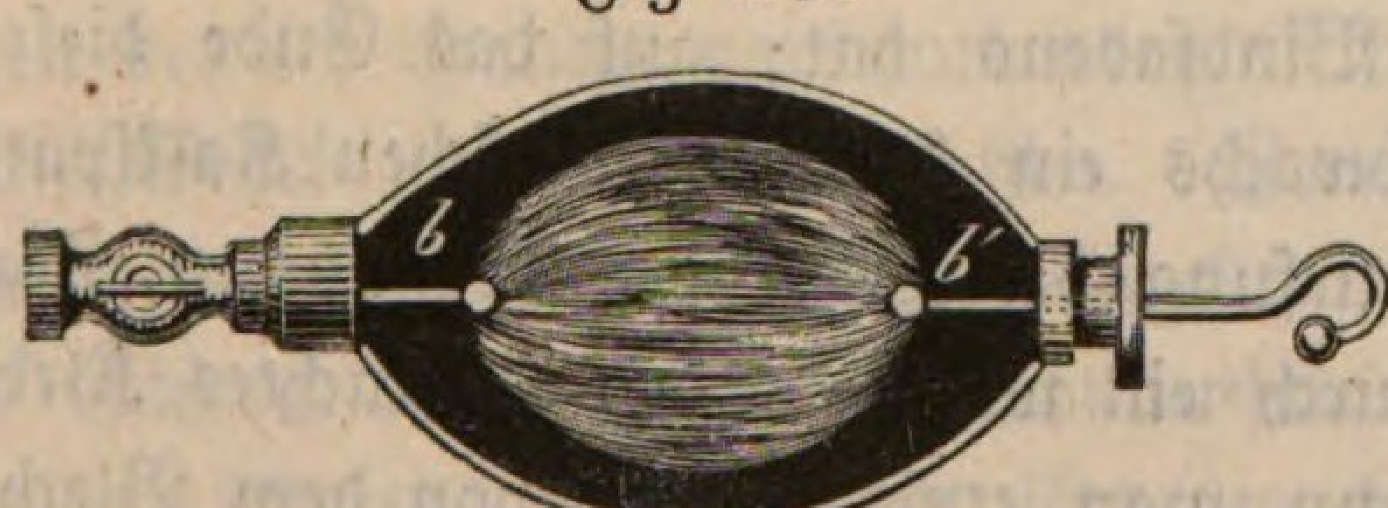
tenförmige Stückchen zerschnitten von etwa 2 Linien Seite, indem man Stanniolstreifchen von 1/4 Linie Breite ausschneidet. Die Schnitte werden mit dem Federmesser am Lineal geführt und die ausgeschnittenen Streifchen herausgeschält. Auf die Mitte dieser Seite befestigt man mit Siegellack ein kleines rundes Blech mit einem Ringe. Die Tafel wird auf einen Tisch gelegt, der Conductor der Maschine mit dem Ringe und der einfache Auslader mit dem untern unzerschnittenen Belege verbunden. Während des Ladens der Tafel springen dann von der Mitte aus geschlängelte Funken über die zerschnittene Fläche, und wenn man den Auslader dem Conductor nähert und die Tafel entladet, erscheint dieselbe ganz mit Blitzen bedeckt, die alle in geschlängelter Richtung nach der Mitte gehen.

Gewöhnlich läßt man die Blitztafel in einen mattschwarzen Holzrahmen fassen, und überzieht auch den unbelegten Rand auf der Rückseite mit schwarzem Papier. Ein Stanniolstreifen wird dann von der hintern Belegung unter der Rückwand der Tafel hervorgeführt bis auf die hintere Seite des Rahmens, wo man eine Drahthafte einschlägt, um die Kette des Ausladers bequem befestigen zu können.

4) Versuche im luftverdünnten Raume. Der einfachste Versuch der Art wird mit der früher angeführten Röhre für den Fall im leeren Raume ausgeführt. Man braucht dieselbe nur in der Hand gegen den Conductor zu halten und Funken übergehen zu lassen; sie durchziehen mit bläulichtem Lichte die ganze Röhre. Bei sehr schwachen Maschinen muß man aber hiebei die Röhre näher an der dem Conductor zugekehrten Fassung halten, wo dann die Lichtströme natürlich nur bis zur gehaltenen Stelle reichen.

Der Versuch kann auch so abgeändert werden, daß man auf den Teller der Luftpumpe eine metallene mit dem Körper der Luftpumpe leitend verbundene Platte legt und die Glocke mit der Stopfbüchse aufsetzt. Man kann an den Stiel der letztern Sterne, Kugeln u. dgl. anschrauben, um dadurch die Gestalt der durch die Glocke ziehenden Lichtströme mannigfach abzuändern. Auch ein Glasgefäß, wie Fig. 367, giebt eine sehr schöne Erscheinung.

Fig. 367.



5) Wenn man zwischen die Conductoren des Henley'schen Ausladers auf das Tischchen desselben ein Stück Flußspath legt und einen kräftigen Schlag darüber leitet, so sieht man auf dem Flußspathe im Dunkeln einen schwach leuchtenden Streifen, der aber schon nach wenigen Secunden wieder erlischt. Wird statt Flußspath ein Stückchen weißen Zuckers genommen, so

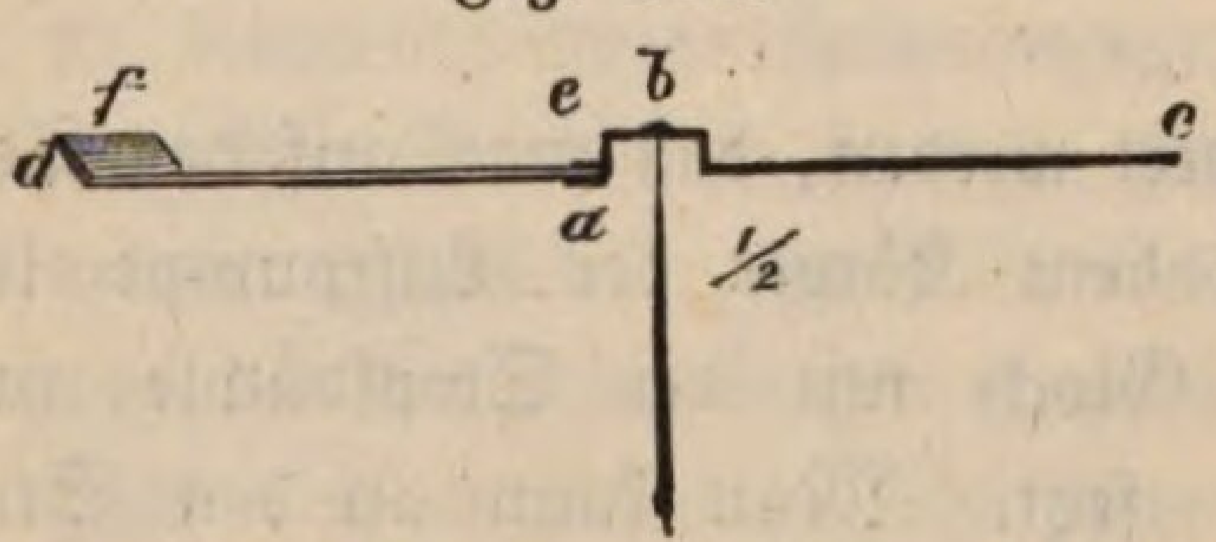
daß die Conductoren ½—1 Zoll Abstand haben, so wird dasselbe in ziemlicher Ausdehnung leuchtend, es erlischt aber auch dieses Licht nach ein paar Secunden.

6) Die Versuche über die Strahlenbüschel und leuchtenden Punkte bei positiver oder negativer Elektricität erfordern, wenn sie recht augenfällig werden sollen, eine Maschine von mindestens 2—3 Zoll Schlagweite.

233 **Elektricität des Turmalins.** Man kann die elektrischen Eigenschaften des Turmalins sehr einfach nachweisen, wenn man ein Stückchen desselben, das, wenn auch sehr dünne, doch etwa einen Zoll lang ist, in der Mitte an einem dünnen Seidenfaden aufhängt und dann durch ein in einer Entfernung von ¼—½ Zoll darunter gehaltenes heißes Eisenblech erwärmt. Das Eisenblech selbst wird durch eine daruntergesetzte Weingeistlampe erhitzt. Mittelst einer an ihrem Ende geriebenen Siegellackstange kann man die Natur der Elektricität sehr leicht nachweisen. Sehr oft zeigt sich dabei der elektrische Zustand, der aufsteigenden Luftströme wegen, weniger auffallend während des Erwärmens; allein beim Erkalten ist die Erscheinung immer eine sehr entschiedene und deutliche; die Einwirkung der Siegellackstange zeigt sich schon in ziemlicher Entfernung.

234 **Elektricität der Kalkspathe.** Der Kalkspath wird durch einen einige Secunden lang fortgesetzten Druck zwischen den Fingern positiv elektrisch und behält diese Elektricität sehr lange. Man zeigt dieses am einfachsten so, daß man ein Blechstreifchen von etwa einer halben Linie Breite, wie *abc* Fig. 368, biegt und bei *b* mit der Kernspitze eine kleine Vertiefung einschlägt. Bei *a* kittet man einen Schelllackfaden *de* an, der etwa die Dicke eines dünnen Bindfadens hat; auf das Ende dieses Fadens kittet man mit etwas Klebwachs ein kleines Stückchen Kalkspath und setzt den Apparat mit der Vertiefung bei *b* auf das Stativchen, Fig. 289. Das Gleichgewicht kann durch ein wenig bei *c* angebrachtes Klebwachs leicht hergestellt werden, wenn man etwa zu viel von dem Bleche weggeschnitten hätte. Man drückt den Kalkspath, bevor man ihn auf die Spitze setzt, zwischen den Fingern, worauf er von einer geriebenen Glasstange lebhaft abgestoßen wird. Auf ähnliche Weise kann man auch mit andern Krystallen verfahren.

Fig. 368.

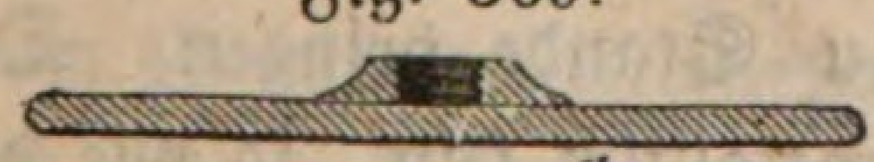


D. Versuche über Elektricität durch Berührung und die Wirkung der galvanischen Säule.

Der Froschversuch. Man schneidet mit einer guten Scheere oder mit einem Messer einen Frosch, nachdem er durch einen Schlag auf den Kopf wenigstens betäubt wurde, mitten entzwei, entfernt mit der Scheere die Reste der Eingeweide von der hinteren Hälfte und streift die Haut ab; die von dem unteren Ende der Wirbelsäule heraustretenden Nervenfäden zeigen sich sehr deutlich und werden nun mit einem scharfen Federmesser noch von dem umgebenden Zellgewebe befreit. Unter die Nerven schiebt man dann ein rein gemachtes Streifchen von Messingblech und legt das Präparat auf eine Glasscheibe; die Zuckungen erfolgen, so oft man das erwähnte Blech und die Schenkelmuskeln mit einem gebogenen Eisendraht oder Zinkstreifen berührt. Man kann auch einen messingenen Haken unter den Nerven durchschieben und das Präparat — am besten an einem Seidenfaden — aufhängen. 235

Die Fundamentalversuche. Zu diesen Versuchen muß man zwei Platten, die eine aus Kupfer, die andere aus Zink, und eine aus Kupfer und Zink zusammen gelöthete Platte haben. Was nun die ersteren Platten betrifft, so müssen dieselben aus liniendickem Blech verfertigt werden. Zinkblech der Art wird man wohl haben, man bedarf desselben zur Anfertigung der verschiedenen galvanischen Apparate so oft, daß man wohl einige Quadratfuß desselben von Zeit zu Zeit anschaffen muß; im Handel kommt es allerdings gewöhnlich nicht von dieser Stärke vor und man muß es daher besonders bestellen. Auch das Kupferblech findet man selten im Handel so stark, doch ist es mitunter der Fall; zu elektrischen Apparaten bedarf man sonst ebenfalls keines so dicken Bleches; allein man kann ein Stückchen des im Handel vorkommenden Stangenkupfers leicht in die erforderliche Stärke ausschmieden lassen. Zweckmäßig ist es, diese Platten gerade von demselben Durchmesser zu machen, wie die Platten des Condensators; sie können dann selbst als Condensatordeckel gebraucht werden, wenn die andere Platte gut gefirnißt ist; am besten und nicht viel mehr Arbeit machend, gibt man ihnen von der Rückseite eine kleine Verstärkung, Fig. 369, in welche dasselbe Gewinde kommt, wie es sämmtliche Elektrometer haben; sie wird mit Zinn angelöthet. Diese Platten müssen mit isolirenden Handgriffen versehen sein; sollen sie nicht auf die Elektrometer geschraubt werden, so kann man sich einfach zweier Siegellackstangen bedienen. Die Platten werden so weit 236

Fig. 369.



½

erhitzt, bis die Siegellackstangen bei ihrer Berührung auf den Platten anschmelzen; es gilt dieses nämlich ganz allgemein für alle Fälle, wo mit Siegellack oder Schelllack gekittet werden soll; immer müssen die zu kittenden Theile soweit, als eben gesagt, erhitzt werden. Sauberer wird die Arbeit, wenn man rückwärts eine Hülse auflöthet, in welche dann eine gut isolirende, einerseits zugeschmolzene Glasröhre eingekittet wird, Fig. 370.

Fig. 370.

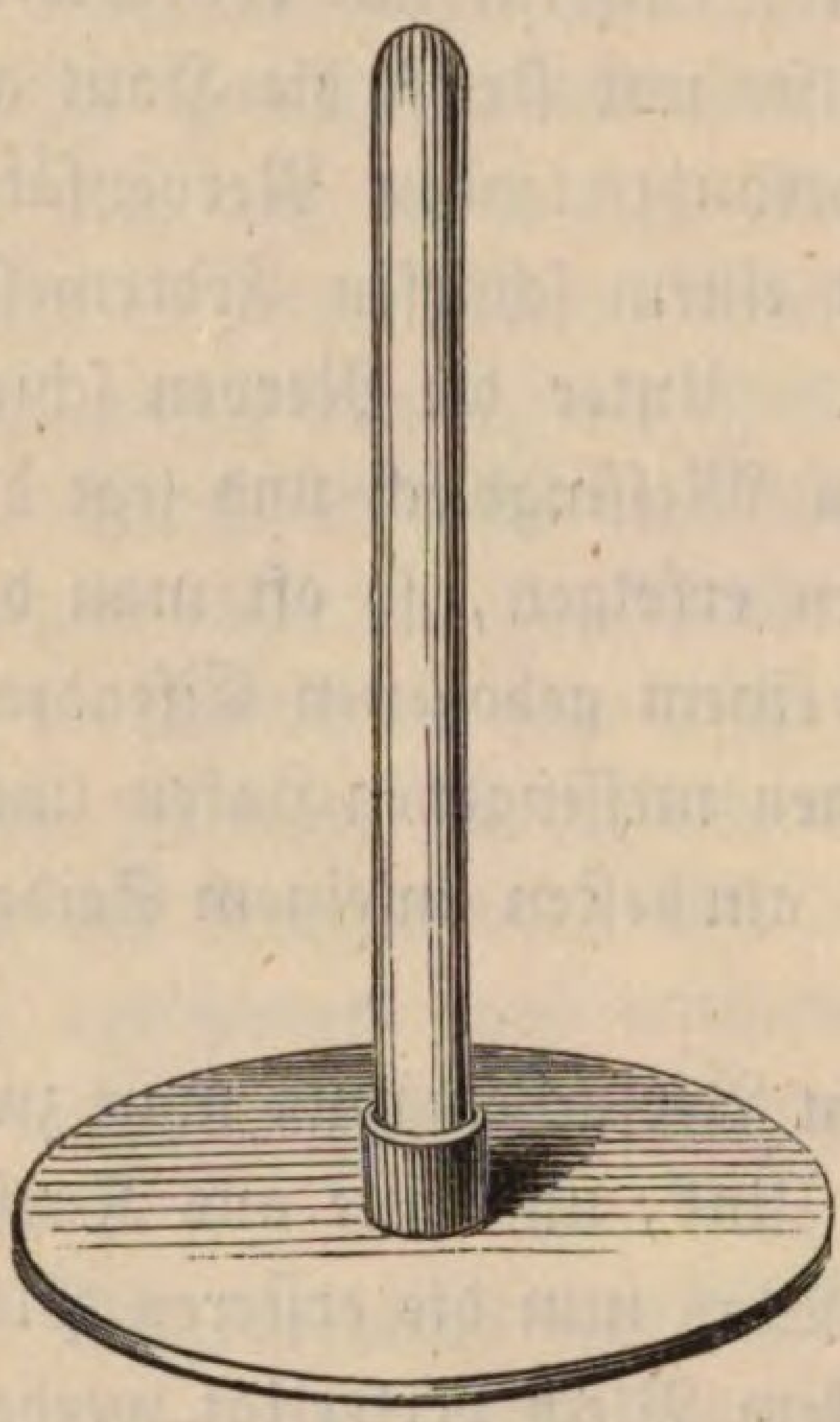


Fig. 371.



½

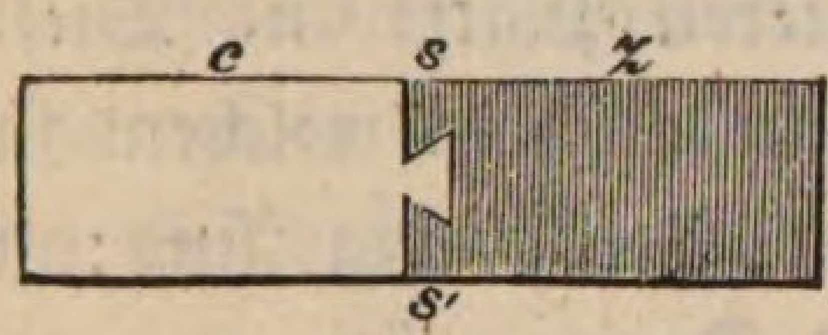
Sind die Platten zum Aufschrauben gerichtet, so wird in die einerseits gut eben geschliffene Glasröhre ein Messingdraht eingekittet, der die Schraube hat, welche in die Platte paßt. Wenn man die Glasröhre nach dem Einkitten des Drahtes wieder bis zum Weichwerden des Kittes erwärmt und dann einschraubt, so wird sich die Schraube schon von selbst in die gehörige Stellung ziehen, wo man sie dann erkalten läßt; man kann die Glasröhre in eine besondere, mit der Schraube versehene Fassung einkitten, wie Figur 371 zeigt, wodurch der Apparat eleganter wird, doch macht dieses unnöthig mehr Arbeit.

Die Platten selbst erhalten einen gut abgerundeten Rand und werden zuerst mit der Feile auf der einen Fläche unter Vergleichung mit einem Lineal möglichst eben gerichtet und zuletzt auf einer Spiegelplatte (es ist dieses bei so kleinen Dimensionen und zweierlei Material sicherer als das Aufeinanderschleifen beider Platten) geschliffen. Das Auflöthen auf der Rückseite muß jedenfalls vor dem Schleifen geschehen, weil sich die Platten dabei ziehen könnten. Die Rückseite wird zuletzt ebenfalls verputzt und gefirnißt. Macht man die Platte auf der Drehbank, so wird die Rückseite ebenfalls zuletzt bearbeitet und dann gleich auf der Drehbank gefirnißt. Zink läßt sich auf der Drehbank leicht bearbeiten; mit Kupfer aber wird man ohne sogenannten Soupport fixe nur mit der Feile unter Befeuchtung mit Oel auf der Drehbank eine ebene Fläche zu Stande bringen. Die geschliffene Seite muß beim Gebrauche frisch metallisch sein, so wie der Rand. Die Fundamentalversuche gehören sonst zu jenen, welche sehr leicht mißlingen, allein der Grund davon liegt vorzüglich darin, daß die Berührungsflächen entweder nicht eben, oder nicht frisch metallisch sind. Letzteres kann immer dadurch wieder hergestellt werden, daß man Bimsstein in einer

porcellanenen Reibschale fein pulvert und dann jede der Platten auf reinem Papiere mit ebener Unterlage mit solchem Pulver reibt; das an der Platte hängenbleibende Pulver wird mit einer Federfahne entfernt. Wenn man die Platten auch in Papier eingewickelt aufbewahrt, so verlieren sie doch ihre reine Oberfläche wieder, und es ist sehr zweckmäßig, sie vor dem jedesmaligen Gebrauche mit Bimssteinpulver zu reiben. Beim Gebrauche dürfen sie durchaus nicht auf einander gerieben werden, weil dabei namentlich die Kupferplatte gleich Zink annimmt, was den Erfolg stört.

Die aus Zink und Kupfer zusammengelöthete Platte erhält die Form wie Fig. 372, sie wird jedesmal vor dem Gebrauche mit der Feile oder dem Schabstahl an einer Stelle des Randes frisch metallisch gemacht. Die Versuche selbst können auf mancherlei Weise abgeändert werden, deren hauptsächlichste nun beschrieben werden sollen.

Fig. 372.



1) Man setzt die isolirten Zink- und Kupferplatten an einander, und trennt sie dann wieder so, daß sie sich parallel von einander entfernen. Die eine derselben bringt man an den Zuleitungsdraht der Basis des Condensators, während man dessen Deckel ableitend berührt, die andere Platte wird durch Berührung ebenfalls entladen und darauf beide wieder an einander gehalten u. s. f. Bei der jedesmaligen Trennung bemerkt man einige Adhäsion, wenn die Platten gut sind. Nach 5 — 20maliger Wiederholung dieses Verfahrens hebt man den Deckel des Condensators ab und das Elektrometer wird die ihm mitgetheilte Elektricität anzeigen. Um Täuschungen durch die Elektricität des menschlichen Körpers zu verhüten, kann man an den hervorstehenden Draht des Deckels einen Draht vom gleichen Metalle zur Ableitung anhängen, und diesen nach der Ladung mit einem Glasstäbchen wegschieben. Berührt man den Condensator mit der Kupferplatte, so kann dieser schon von Messing sein, allein für die Anwendung der Zinkplatte sollte die Basis, so wie ihr Zuleitungsdraht, ebenfalls von Zink sein. Da es bequemer ist, den Deckel zu wechseln als die Basis, so kann man sich einen Deckel von Zink machen, und diesem die Elektricität der Zinkplatte mittheilen, nur zeigt dann das Elektrometer beim Abheben des Deckels die entgegengesetzte Elektricität.

Haben die Platten zwei Zoll und darüber Durchmesser, so bedarf man bei einem Goldblattelektrometer keines Condensators; die Blättchen divergiren auch ohne diesen, wenn man die Berührung ein paar Male wiederholt, immer merklicher. Besonders leicht erreicht man dieses mit solchen größeren Platten an dem Elektrometer von Fig. 297, indem man hier den zu dem Goldblättchen führenden Knopf mit der einen und den zum gebogenen Drahte führenden mit der anderen Platte berührt. Bei einem empfind-

lichen Bohnenberger'schen Elektrometer reicht auch eine einmalige Berührung aus. Dieses führt zur zweiten Art den Versuch anzustellen; das Gleiche ist der Fall mit dem Oerstedt'schen Elektrometer, Fig. 298. Besteht der Condensator selbst aus Kupfer und Zinkplatten, so berührt man Basis und Deckel des Condensators jeden mit dem gleichnamigen Metalle und wiederholt dieses einigemale, ohne weder den Condensator noch die erregenden Platten mit den Fingern zu berühren. Der Versuch gibt so das unzweideutigste Resultat.

2) Man schraubt die eine der Platten selbst auf das Elektrometer und setzt die andere darauf. So oft die obere Platte isolirt abgehoben wird, zeigt das Elektrometer die Elektricität der unteren Platte an. Dieser Versuch dient zugleich zur Erläuterung über den Zustand, in welchem sich die Elektricität befindet, während beide Platten in Berührung sind; er erfordert aber mindestens Platten von 2 — 3 Zoll Durchmesser.

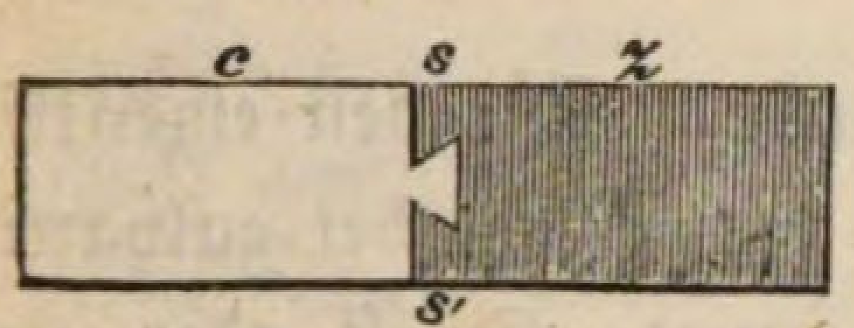
Dieser Versuch erfordert zugleich auch ein sehr empfindliches Elektrometer, und dürfte schwerlich mit einem einfachen Goldblatt-Elektrometer gelingen, während der vorige, eben weil bei ihm eine zweimalige Condensation stattfindet, viel leichter geht, und überhaupt die sichersten und deutlichsten Resultate gibt. Wenn man aber das Goldblatt-Elektrometer mit dem Vertheilungsdrahte anwendet (Fig. 297), und diesem Elektricität mittheilt, so daß in Folge der Vertheilung die Goldblättchen divergiren, sodann, nachdem die aufgeschraubte Erregerplatte ableitend berührt wurde, die zweite Platte aufsetzt und wieder abhebt, wird die vermehrte oder verminderte Divergenz der Goldblättchen die Elektricität anzeigen. Bei dem Oerstedt'schen Elektrometer theilt man dem Zuleiter zuerst etwas Elektricität mit, nachdem beide Platten aufgesetzt sind, so daß die Nadel nur wenig abgestoßen wird. Hebt man dann die eine Platte ab, so vermindert oder vermehrt sich die Abstoßung, je nach der Art der mitgetheilten Elektricität und der aufgeschraubten Platte. Besser geht der Versuch, wenn das Elektrometer ebenfalls einen Vertheilungsdraht hat. Am einfachsten aber ist für diesen Zweck ein empfindliches Elektrometer mit Zamboni'schen Säulen. Bei diesem schraubt man ohne alle weitere Vorbereitung die eine Platte auf und macht den Versuch.

3) Man berührt den messingenen Theil des Condensators mit Messing oder Kupfer, das man in der Hand hält, oder man berührt den aus Zink gefertigten Theil des Condensators mit einem in der Hand gehaltenen Stücke Zink, während man die andere Seite des Condensators mit der anderen Hand ableitend berührt. War der Condensator vorher gehörig entladen, so zeigt er auch nach dieser Berührung keine Elektricität. Berührt man aber einen messingenen Theil des Condensators mit Zink oder

einen zinkenen Theil mit Kupfer oder Messing, so wird man Elektricität erhalten. Auch hierzu ist ein empfindliches Elektrometer nöthig.

4) Man berührt entweder den Deckel oder die Basis des Condensators mit dem einen Ende der zusammengelötheten Platte, Figur 373, während man das andere in der einen Hand hält und mit der anderen den Condensator ableitend berührt. Hat man das Zinkende in der Hand, so muß der berührte Theil des Condensators ebenfalls von Kupfer oder doch von Messing sein, und umgekehrt, muß dieser Theil von Zink sein, wenn man mit dem Zinkende der zusammengelötheten Platte berührt, diese also am Kupfer hält. Die Berührung braucht nicht lange fortgesetzt zu werden, nur müssen die berührenden Stellen rein sein.

Fig. 373.



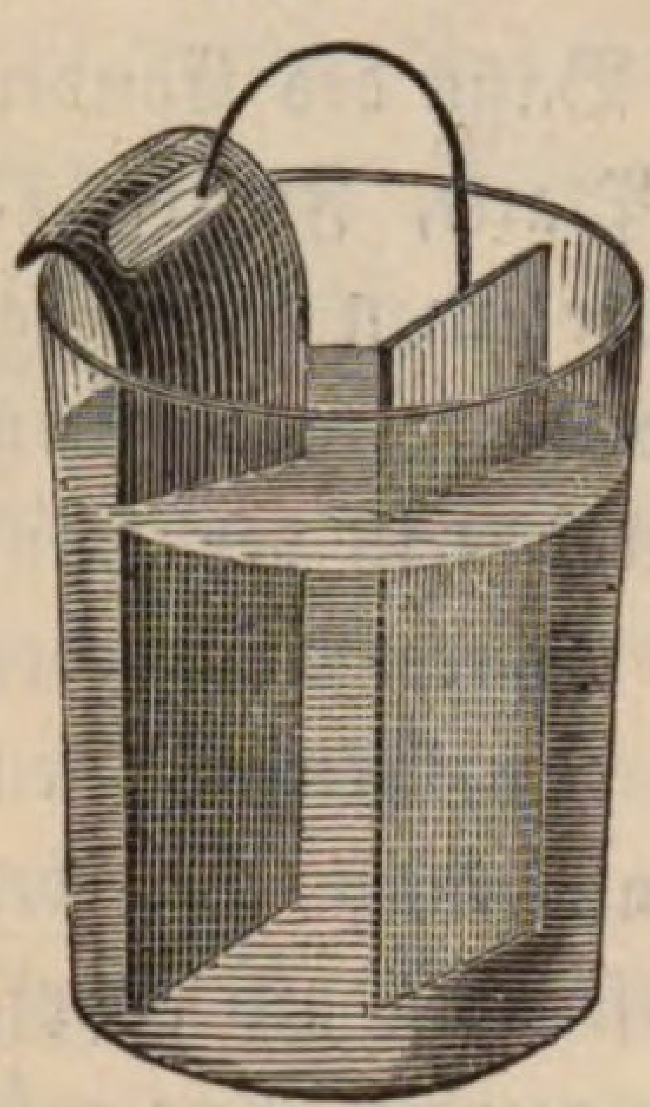
5) Die beiden zu dem zweiten Versuche verwendeten Platten können auch zu einigen Versuchen mit Flüssigkeiten dienen, wenn man sie mit einer etwas breiten, sehr dünnen Platte aus Spiegelglas belegt und auf dieser die Flüssigkeit ausbreitet, oder eine damit befeuchtete Fließpapierscheibe darauf legt, welche nur so groß ist als die untere Platte. Ist die untere Platte Zink, so verbindet man dann diese mit der Flüssigkeit auf einige Augenblicke durch einen passend gebogenen Zinkstreifen, den man mittelst zweier isolirender Handhaben aus Siegellack wie eine Klemme öffnet und schließt; hebt man nachher die Glasplatte an ihrem hervorstehenden Rande ab, so zeigt das Elektrometer die negative Elektricität des Zinks, wenn die Flüssigkeit reines oder angesäuertes Wasser war.

Zu bemerken ist schließlich noch, daß diese Versuche alle nur bei günstiger trockener Witterung sichere Resultate geben, eine Bedingung, die übrigens für alle Versuche über elektrische Spannung gleichmäßig erfüllt sein muß, wenn der Erfolg sicher sein soll, namentlich aber, wenn man es mit nur schwacher Elektricität zu thun hat, wie hier.

Um nachzuweisen, daß auch durch die Berührung zwischen Flüssigkeiten und Metallen Elektricität frei wird, kann man übrigens auch die chemische und magnetische Wirkung der elektrischen Ströme benutzen, indem man dieselbe hier anticipirt. Der Versuch wird so angestellt, daß man in ein gewöhnliches Trinkglas verdünnte Salpetersäure mit etwas Schwefelsäure mischt und ein oberhalb umgebogenes amalgamirtes Zinkblech hineinstellt, auf dessen umgebogenen Theil ein mit Jodkaliumlösung getränktes zusammengelegtes Fließpapier gelegt wird; taucht man nun ein Platinblech mit angelöthetem Platindrahte ebenfalls in die Säure und krümmt den Platindraht auf das Fließpapier, wie in Fig. 374 (a. f. S.), so erscheint sogleich 237

auf dem Papiere ein brauner Fleck in Folge des ausgeschiedenen Jods.

Fig. 374.



Leitet man den Strom vom Platin vorher durch einen Multiplicator, so zeigt die gleichzeitig mit der Berührung des Papiers erfolgende Abweichung der Nadel auch den vorhandenen elektrischen Strom an.

238 **Die galvanische Säule.** Für den eigentlichen Gebrauch ist die Form der Säule bei galvanischen Apparaten längst antiquirt; sie ist aber ein stehender Artikel in allen Lehrbüchern und sowohl in theoretischer als in historischer Beziehung wichtig, und kann daher bei einem physikalischen Apparate noch nicht entbehrt werden; um so weniger, als man sich andere kräftigere Apparate gewöhnlich nicht mit so zahlreichen Elementen anschafft, wodurch die Spannungserscheinungen an ihnen weniger hervortreten als an der Säule. Man wird jedoch bei der Anschaffung einer Säule aus diesen Gründen sich auf kleine Platten beschränken können, und auch bei der Zahl der Paare nicht über 50 bis 100 hinausgehen.

Die einzelnen Platten werden mit der Scheere aus etwa Millimeter dickem Kupferbleche ausgeschnitten, mit dem Hammer eben gerichtet und mit der Feile vollends kreisrund gemacht; ebenso verfährt man mit den Zinkplatten. Letztere müssen aber aus etwa liniendickem Bleche gemacht werden, weil sie sich sowohl durch die Wirksamkeit der Säule, als durch das öftere Putzen stärker abnutzen, als die Kupferplatten. Zinkblech von dieser Dicke ist aber nicht mehr so mit der Blechscheere zu schneiden, wie das erwähnte Kupferblech; man verfährt daher am besten so, daß man das erforderliche Zinkblech in Quadrate eintheilt, deren jedes etwa eine Linie mehr Seite hat, als die Platten Durchmesser bekommen sollen. Die Theilungslinien werden mit einem Schabstahle (den man aus jeder abgenutzten dreieckigen Feile zuschleifen kann, wenn diese nur ehemals gut war) scharf ausgezogen. Man bringt sodann an den Anfang einer solchen Linie einen Tropfen Quecksilber und fährt mit einem spitzig zugeschnittenen in Salzsäure getauchten Hölzchen von dem Tropfen an die Linie langsam aus; das Quecksilber läuft dem Hölzchen leicht nach, amalgamirt das Zink und dieses wird auf der Theilungslinie dadurch so mürbe, daß man es nach einiger Zeit leicht brechen kann. Da man öfter in den Fall kommt, dickes Zinkblech zu schneiden, so ist dieses Verfahren sehr bequem. Die noch übrige Abrundung der Platten wird leicht ausgeführt, wenn man die Ecken zuerst mit dem Meißel abhaut und dann eine grobe etwas weit aufgehauene Feile, wie man sie für Kupfer hat, anwendet.

Kupfer- und Zinkplatten müssen nun zusammengelöthet werden, da

dieses sowohl für die Wirkung viel vortheilhafter ist, als das bloße Aufeinanderlegen, als auch beim Putzen fast die halbe Arbeit spart. Die Löthung muß aber durchweg geschehen, und nicht bloß rings am Rande herum. Man kann dieses leicht selber thun. Die Platten werden zu dem Ende mit der Feile und dem Schabstahle einerseits gereinigt, und dann mit Oel und Salmiakpulver bestrichen, erwärmt, und wenn ein Stückchen gewöhnliches Klempnerloth darauf fließt, dieses mit dem Löthkolben oder auch mit einem Stückchen Messingdraht auf der Platte herum vertheilt. Man kann dabei immer 3 — 6 solcher Platten auf einem Eisenbleche zugleich erhitzen, wobei man aber die Kupferplatten besonders behandelt, da diese etwas mehr Hitze erfordern. Sind auf diese Weise alle Platten verzinnt, so legt man ein Paar nach dem anderen, nachdem etwas Kolophonium aufgestreut ist, in gehöriger Lage zwischen eine kleine Zange (am besten eine kleine Schmiedezange, die man ja auch sonst braucht), drückt sie und hält sie über das Feuer, bis das Loth fließt, was schnell erfolgt, und wobei alles überflüssige Loth ausgedrückt wird. Zuletzt werden die Platten noch am Rande herum mit der Feile verputzt.

An einige der Paare löthet man am Rande kurze Kupferdrähte an, oder läßt an einigen Kupfer- oder Zinkplatten kleine Ohren stehen; diese Paare werden beim Aufbauen in der Säule herum vertheilt, um bequem an verschiedenen Stellen derselben mittelst Klemmschrauben — wovon ein folgender Artikel das Nähere enthält — Leitungsdrähte anbringen zu können.

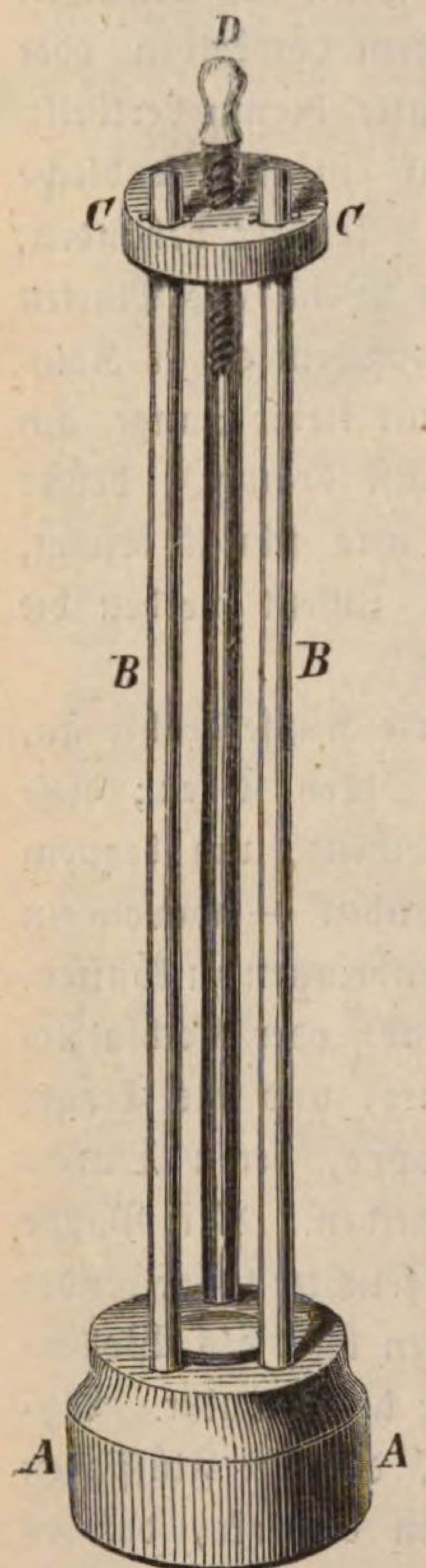
Als feuchten Zwischenleiter nimmt man Salmiak- oder Kochsalzlösung, oder auf $1/_{20}$ verdünnte englische Schwefelsäure, und als Träger dieser Flüssigkeiten Scheiben von Wollentuch oder Pappe, deren Durchmesser um etwa 2 Linien kleiner ist als jener der Scheiben. Mit Pappe erhält man im Allgemeinen bessere Wirkung, da sie feuchter angewendet werden kann, weil sie sich nicht so sehr zusammendrücken läßt, als Wollentuch, und folglich die Flüssigkeit nicht so leicht aus ihr herausquillt. Letzteres darf überhaupt nicht in dem Grade stattfinden, daß die Flüssigkeit äußerlich an der Säule herabträufelt, und wenn man bemerkt, daß es irgendwo dahin kommen will, so entfernt man das Ueberflüssige durch Fließpapier. Man muß daher die Scheiben, nachdem sie von der Flüssigkeit durchdrungen sind, was bei Pappe etwa eine Stunde erfordert, soweit auspressen, daß der Druck der oberen Platten keine Flüssigkeit mehr auspressen kann; die oberen Scheiben können also feuchter angewendet werden als die unteren.

Tuchscheiben kann man nach einem Blechmuster mit der Scheere ausschneiden, für Pappscheiben muß man wohl um so eher einen Durchschlag haben, als dieselben nach mehrmaligem Gebrauche durch die Säuren so mürbe gemacht werden, daß sie zerfallen. Tuchscheiben sind viel dauer-

hafter. Pappscheiben dürfen nicht aus umgearbeitetem Maschinenpapiere bestehen, da dieses, weil es mit Harzseife geleimt ist, die Flüssigkeit beinahe gar nicht durchdringen läßt.

Um die Säule aufzubauen, kann man sich ein Gestelle wie Fig. 375 machen lassen, wo auf einem Stücke Holz *AA* drei Stäbe *BB* senkrecht und in solcher Entfernung von einander befestigt sind, daß die Platten gerade zwischen ihnen Platz haben. In jede der Säulen wird auf der inneren Seite eine Barometerröhre in eine Nuthe halb eingelegt und durch Siegellack befestigt, so daß die Platten nur mit dieser in Berührung kommen. Oberhalb werden die Stäbe durch ein rundes Brettchen *CC* zusammengehalten und durch hölzerne Schließen darin befestigt. In diesem Brettchen läuft eine hölzerne Schraube *D*, durch welche ein schwacher Druck auf die Säule ausgeübt werden kann.

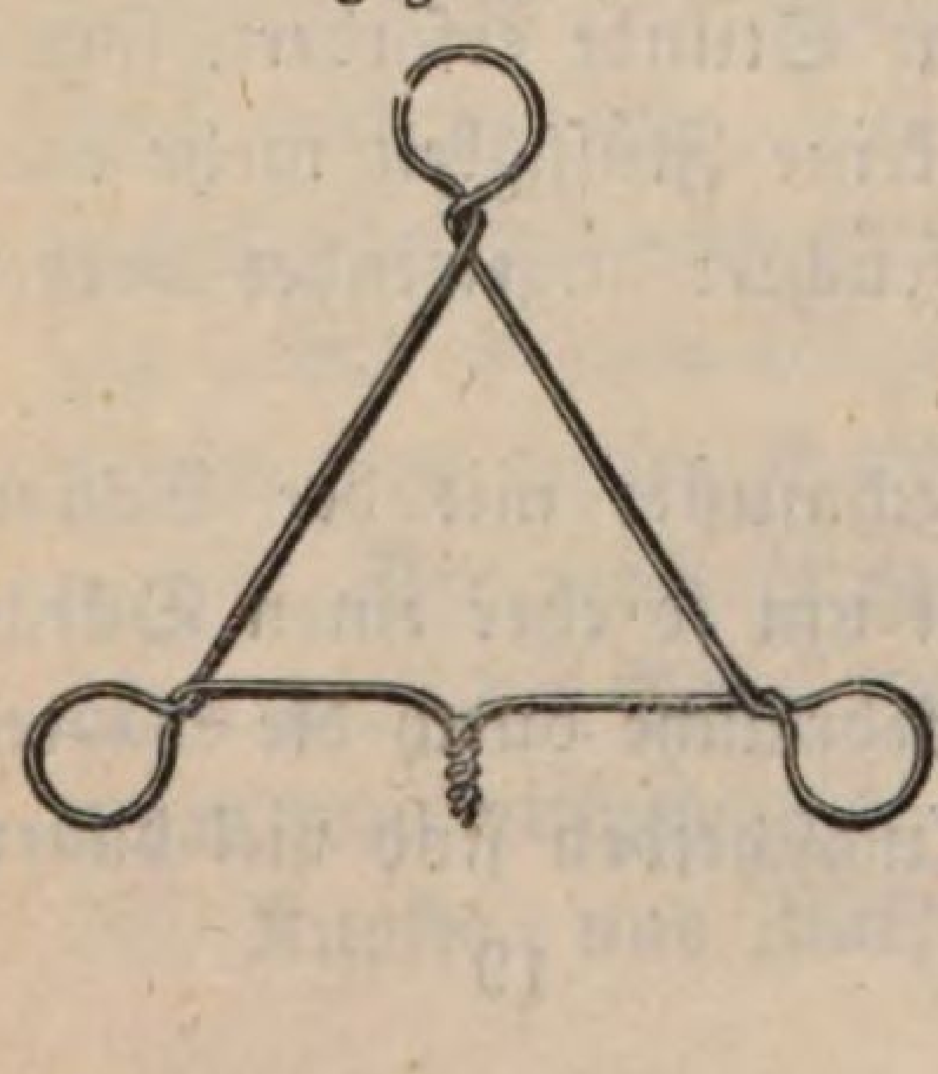
Fig. 375.



Will oder kann man die Auslage für ein solches Gestell nicht machen, so läßt sich der Zweck auch so erreichen, daß man in ein beliebiges Klötzchen in gehöriger Entfernung drei Löcher bohrt, und in diese drei Barometerröhren einkittet, welche dann aber durch ein Dreieck aus Messingdraht wie Figur 376 zusammengehalten werden. Der Druck zur Festhaltung des obersten Plattenpaares wird dann durch ein aufgelegtes Gewicht von etwa ½ Pfund hervorgebracht.

Soll die Säule aufgebaut werden, so legt man zuerst ein paar Glasscheiben auf den Fuß *AA*, so daß dadurch eine Unterlage von etwa einem halben Zoll Höhe entsteht, oder man macht eine Siegellackscheibe von dieser Dicke und legt darauf ein Plattenpaar mit angelöthetem Drahte. Die vorher eingeweichten Scheiben drückt man selbst mit der Hand auf den durch Erfahrung erlernten Grad aus und legt sie ein, während man die Plattenpaare durch einen Anderen, der trockene Hände hat, in der gehörigen Ordnung einlegen läßt. Man könnte allerdings die Pappscheiben durch ein den nachfolgenden Plattenpaaren ent-

Fig. 376.



sprechendes Gewicht auspressen; allein dieses ist umständlich und man erhält bald das erforderliche richtige Gefühl in der Hand; es handelt sich ja auch nicht um die großmöglichste Wirkung. Den Schluß macht immer wieder ein Plattenpaar mit angelöthetem Drahte, auf welches dann wieder einige Glasscheiben oder eine Harzscheibe kommt.

Nach dem Gebrauche nimmt man die Säule sogleich auseinander, breitet die Pappscheiben zum Trocknen aus, und legt die Plattenpaare in Wasser, um sie gelegenheitlich, aber doch recht bald, ebenfalls zu putzen. Für die letztere Arbeit schlägt man in ein kleines Brettchen drei Drahtstifte so ein, daß gerade ein Plattenpaar zwischen ihnen Platz hat und die Stifte nicht über dasselbe hervorragen; man fegt sie dann mittelst eines Stückchen Holzes mit Streusand und legt sie sogleich wieder in Wasser, bis alle gefegt sind: nachher erst fängt man mit dem Abtrocknen an, was recht sorgfältig geschehen muß. Die abgetrockneten Platten werden wieder in ihrem Gestelle aufgeschichtet, aber so, daß immer nur Kupfer auf Kupfer und Zink auf Zink zu liegen kommt, wodurch alles Rosten verhütet wird; die getrockneten Pappscheiben werden besonders aufbewahrt.

Hat man eine solche Säule aufgebaut, so muß man, außer den Erschütterungen, vorgreifend auch ihre chemische Wirkung durch Wasserzersetzung und ihre magnetische Wirkung im geschlossenen Zustande zeigen.

Die Klemmschrauben und Quecksilbernäpfe. Zu inniger Ver- 239
bindung derjenigen Leiter, durch welche galvanische Ströme gehen sollen, deren Elektricitätsquellen vor Eintritt des Stromes keine hohe Spannung hervorbringen können, genügt das bloße Aneinanderhängen der Theile nicht mehr, wie bei der Reibungselektricität. Bei galvanischen Säulen von sehr vielen Paaren ist dieses zwar wohl noch der Fall, allein auch hier thut man besser, für eine innigere Verbindung der einzelnen Leiter zu sorgen. Es geschieht dieses gewöhnlich entweder dadurch, daß man beide Leiter in eine kleine Vertiefung taucht, worin sich etwas Quecksilber befindet, oder daß man beide an ein Zwischenstück anschraubt.

Quecksilbernäpfe macht man einfach so, daß man in ein Stückchen Holz von etwa 1 Quadratzoll Fläche mit dem Centrumbohrer ein Loch von etwa $1/2$ Zoll Tiefe und $1/2$ Zoll Durchmesser macht; man kann das Loch mit Siegellack firnissen, was aber nicht nothwendig ist. Gut ist es, wenn das Näpfchen im Grunde noch zwei nicht tiefe Löcher von etwa $1/2$ Linie Weite hat, um die Drahtenden einstecken zu können; statt dieser Löcher kann man auch zwei Haften aus Eisendraht in den Boden oder die Seitenwand schlagen, und die Enden der Leitungsdrähte darein stecken Wo es angeht, ist es viel besser, gewöhnliche eiserne Fingerhüte zu kaufen und sie in das Holz einzustecken; es ist dieses besonders dann der Fall, wenn, wie

es öfter vorkommt, mehrere Näpfe in demselben Brette nöthig sind. Man kann nämlich dann jeden Napf für sich herausnehmen und entleeren, wobei man kein Quecksilber verschüttet, da es nicht immer möglich ist, alle anderen Näpfe außer dem zu entleerenden gehörig mit den Fingern zu verschließen. Dieser unvermeidliche directe Verlust an Quecksilber, so wie der indirecte desselben durch Verunreinigung mit dem eingetauchten Metalle und das Amalgamiren der Drahtenden macht die Quecksilbernäpfe bei den gegenwärtigen Quecksilberpreisen theurer als die Klemmschrauben, welche doch nur einmal kosten und dann noch den Vortheil haben, daß die zusammengeschraubten Theile als Ganzes beweglich bleiben, und man auch nicht nöthig hat, die zu vereinigenden Metalle vorher zu amalgamiren. Letzteres geschieht übrigens einfach dadurch, daß man die Theile mit etwas Salpetersäure bestreicht, dann in Quecksilber taucht, und durch Reiben mit Fließpapier letzteres darauf ausbreitet.

Klemmschrauben sind also überall dem Quecksilber vorzuziehen, wo nicht etwa ein schnelles Unterbrechen und Wiederherstellen der Verbindung erforderlich ist, oder wo die Stromtheile nicht ihre Beweglichkeit unabhängig von einander beibehalten sollen.

Man hat außer den an einzelnen Apparaten fest anzubringenden Klemmschrauben, deren Form sich nach dem speciellen Zwecke richtet, eine Anzahl derselben zu allgemeinem Gebrauche vorräthig, wovon einige bestimmt sind, Bleche an Bleche, andere Bleche an Drähte, und wieder andere Drähte an Drähte anzuschrauben. Von jeder Sorte hat man einige Stücke nöthig. Bei allen muß man auf etwas dicke und gut gearbeitete Schrauben sehen, die ein nur mäßig feines aber tiefes, Gewinde haben, damit sie nicht sobald todt werden.

Fig. 377.

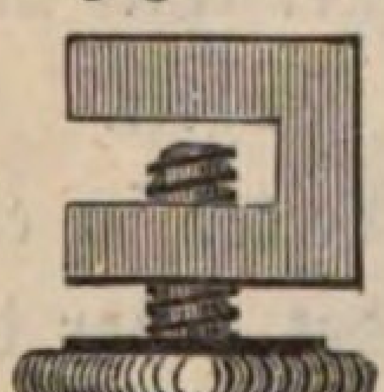
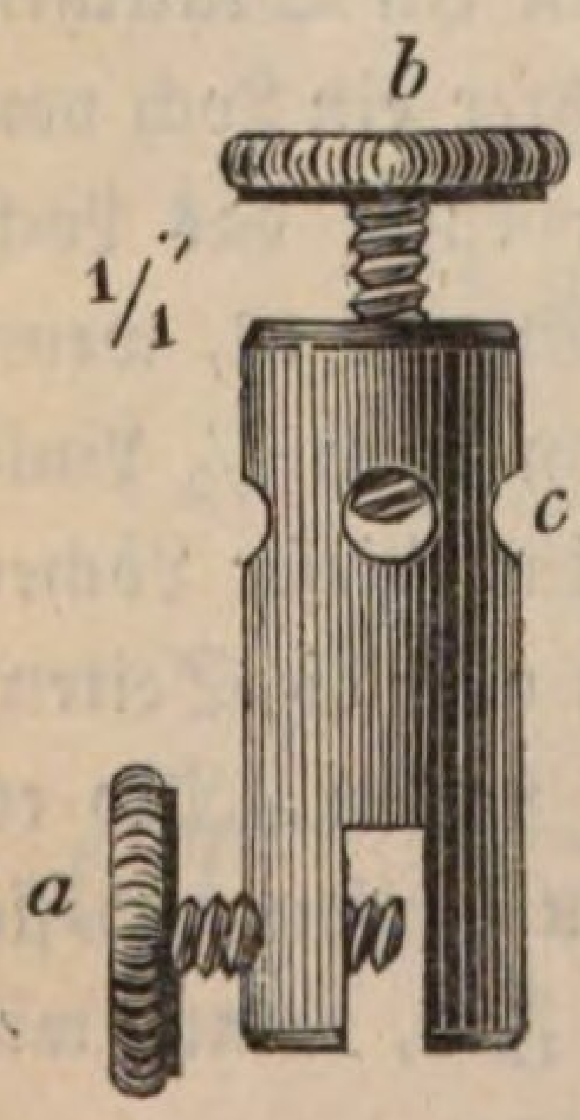


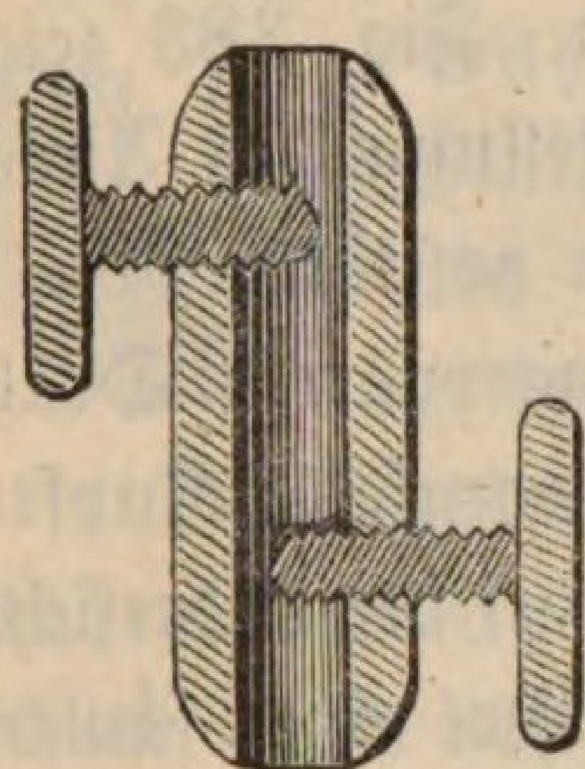
Fig. 378.



Um Bleche an Bleche zu schrauben, dienen ganz einfach eiserne Klemmen von der Form und Größe, wie Fig. 377. Um Bleche an Drähte zu schrauben, schneidet man von dickem Messingdraht ein Stück von etwa 1 — 5/4 Zoll herunter und arbeitet es wie Fig. 378; die Schraube *a* faßt das Blech und *b* den in eines der rechtwinklicht einander durchschneidenden Löcher *c* gesteckten Draht Man muß dafür sorgen, daß die Löcher gehörig weit gebohrt werden, um auch dicke Drähte aufnehmen zu können, und daß das Loch für das Gewinde der Schraube *b* nicht über die Kreuzungsstelle weggeht. Letzteres führt den Uebelstand herbei, daß dünne Drähte immer in diese Vertiefung hinein gepreßt werden, wodurch sie krumm werden, ungern herausgehen und zuletzt auch spröde werden und abbrechen.

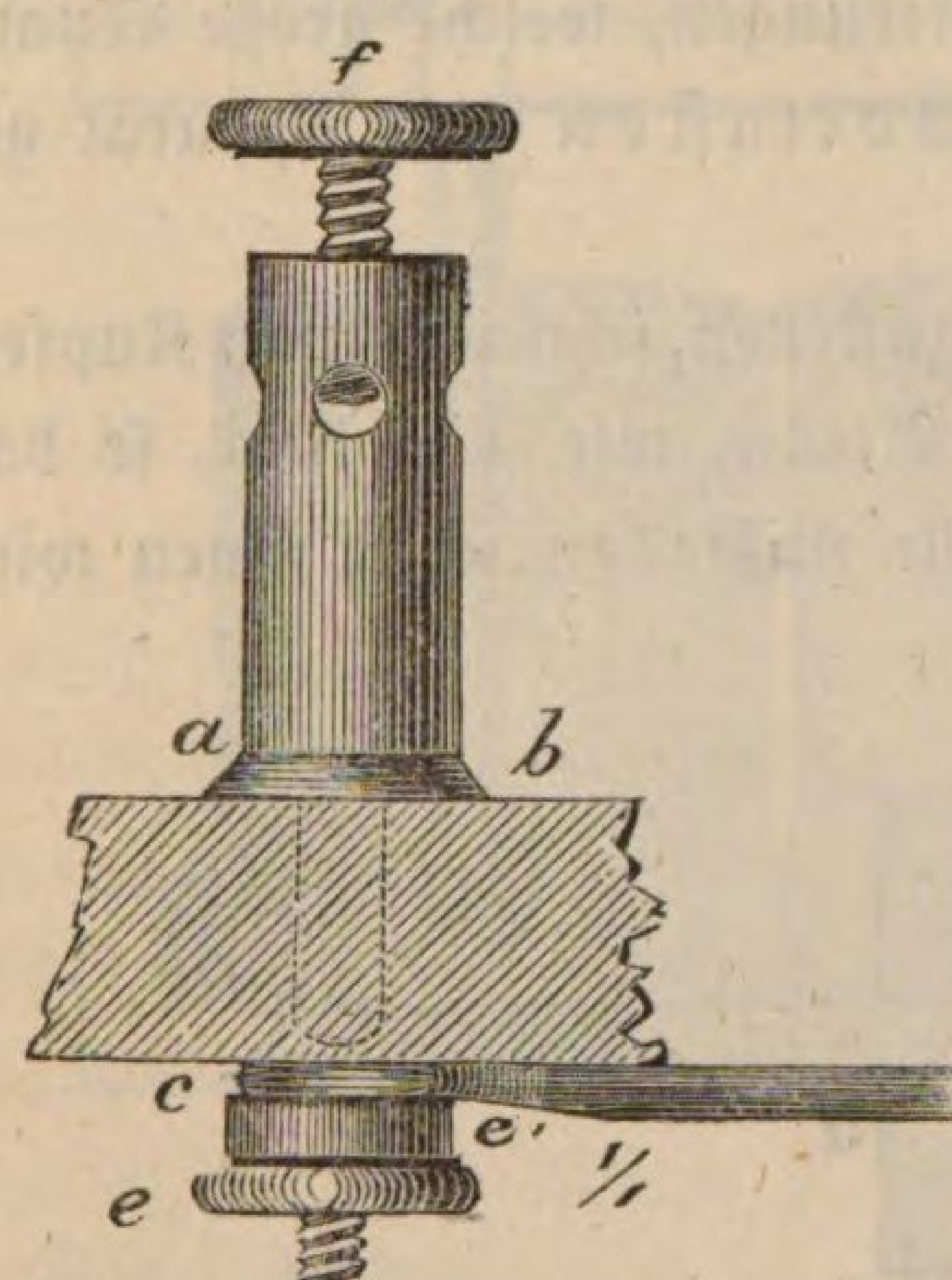
Um Drähte an Drähte zu schrauben, könnte man ein Stück Messing

Fig 379.



auf beiden Seiten so zu richten, wie Fig. 378, auf der Seite der Schraube *b*. Allein man erreicht in beinahe allen Fällen den Zweck vollkommen durch eine Klemme, wie sie Fig. 379 in natürliche Größe und im Durchschnitte zeigt.

Fig. 380.



Soll die Klemmschraube für beständig an einem Apparate verbleiben, so erhält sie sehr oft die Form wie Fig. 380, wo dann der vom Apparate kommende Draht in ein Oehr umgebogen, etwas glatt geschlagen und entweder bei *a b* oder bei *c d* angeklemmt wird, während der andere, vom Elektrometer kommende Draht durch die Schraube *f* gehalten wird. Wenn es der Platz erfordert, so wird der Draht und die Schraubenmutter *e* in das Holz eingelassen; letztere erhält dann die Form wie Fig. 381, und wird durch zwei Löcher mit der Spitzzange angezogen. Man kann sie auch viereckig lassen, und mit der Flachzange anziehen, nur muß dann das Holz weiter ausgebohrt sein.

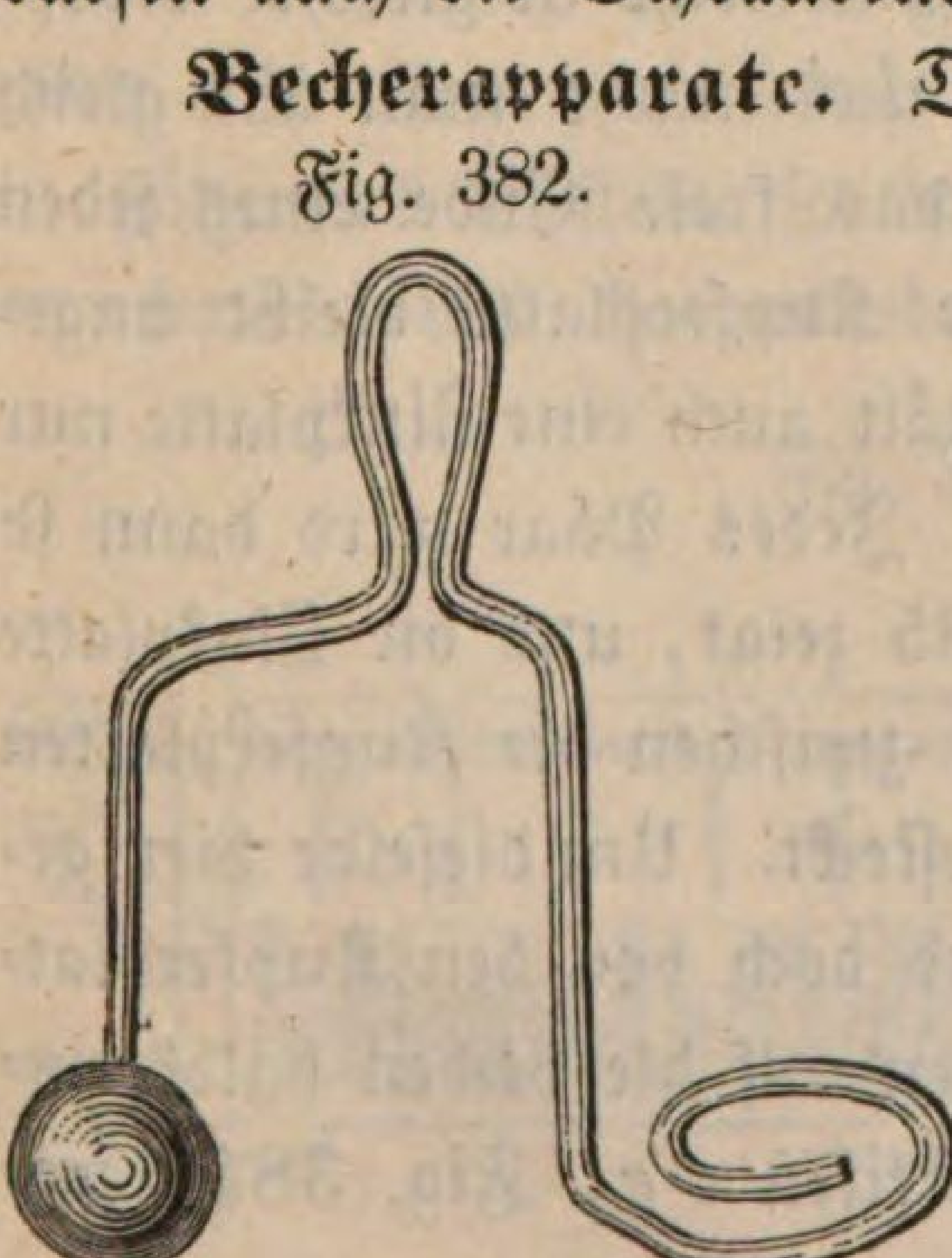
Fig. 381.



Die Drahtenden, welche in die Klemmschrauben kommen sollen, reinigt man gewöhnlich vorher mit der Feile oder mit dem Schaber. Die Schrauben sind stets sehr fest anzuziehen, besonders wenn es sich um Messungen handelt, wo nur dadurch eine gleichförmige Verbindung erreicht werden kann. Man bemerkt die Wirkung des Anziehens sehr auffallend, wenn Meßapparate eingeschaltet sind. Gerade deswegen dürfen auch die Schraubenköpfe nicht zu klein sein.

Becherapparate. Da Säulen im Gebrauche sehr unbequem sind, 240

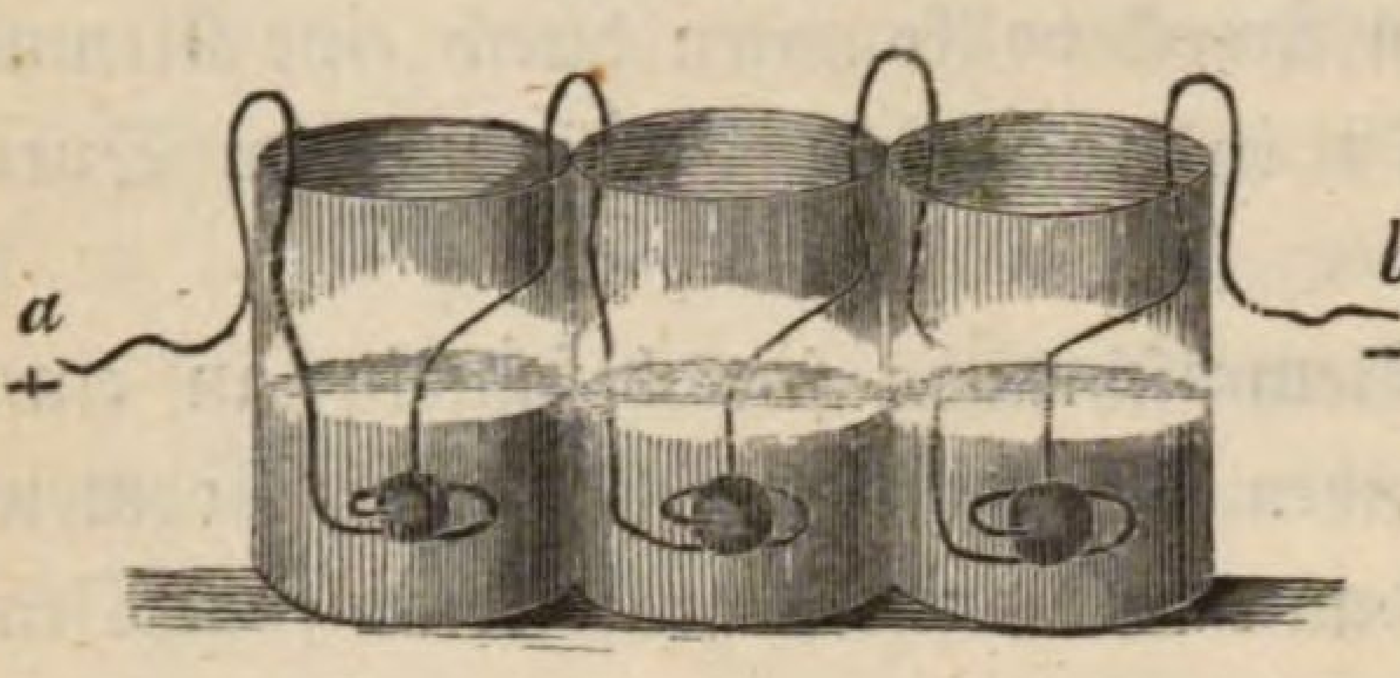
Fig. 382.



so hat man praktischere Zusammensetzungen erdacht. Unter diesen sind Modificationen von V o l t a's Becherapparat jetzt am allgemeinsten im Gebrauche. Am einfachsten kann man sich denselben herstellen, wenn man an Kupferdrähte Zinkkugeln im Flintenkugelmodel angießt, die Drähte dann, wie Fig. 382, krümmt und in gewöhnliche Trinkgläser stellt, so daß der federnde Draht je zwei Gläser zusammenhält. In die Gläser kommt die gewöhnliche

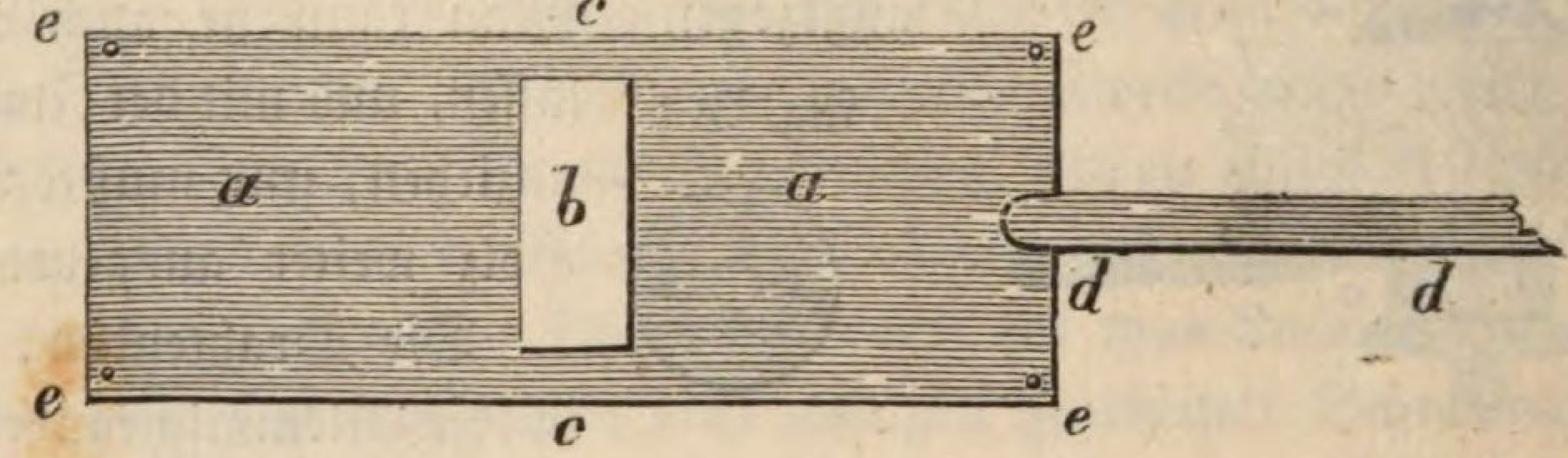
Flüssigkeit (Wasser mit $1/_{10}$—$1/_{20}$ Schwefelsäure und $1/_{20}$—$1/_{30}$ Salpetersäure). Wenn man auch nur 20—30 Paare anwendet, erhält man schon Erschütterungen. Fig. 383 zeigt die Zusammenstellung des Apparates. An dem positiven Pole *a* ist noch ein ungepaarter Draht eingesetzt, also ebenfalls Kupfer, und man muß bei der Uebersicht, wo der positive Pol eines säulenartigen Apparates sei, immer die ganzen Paare berücksichtigen, er ist immer auf der Zinkseite dieser Paare in Uebereinstimmung mit der Säule. Zu Wirkungen, welche große Quantität erfordern, ist jedoch die Form, welche Wollaston dem Apparat gegeben, viel zweckmäßiger.

Fig. 383.



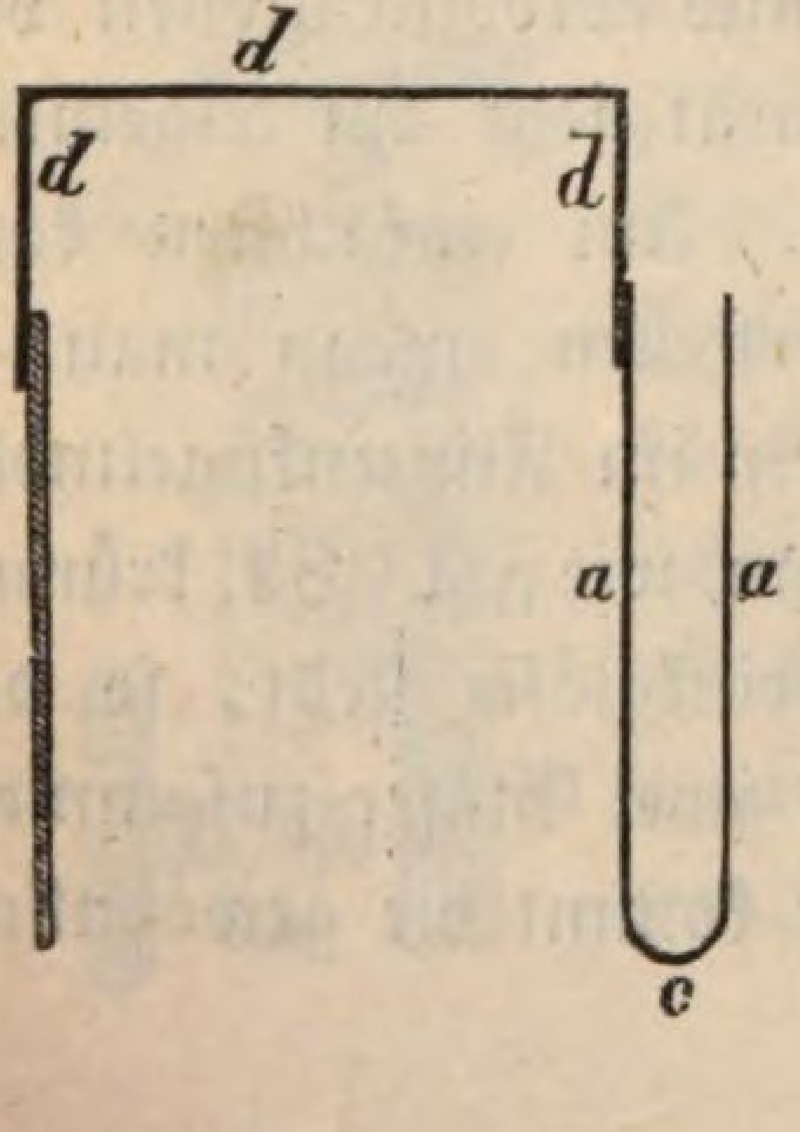
Um den Wollaston'schen Apparat herzustellen, schneidet man Kupferplatten aus etwa ½—1 Millimeter dickem Bleche, wie Fig. 384, so daß jede der beiden Platten 12—15 Quadratzolle mißt; zwischen ihnen wird

Fig. 384.



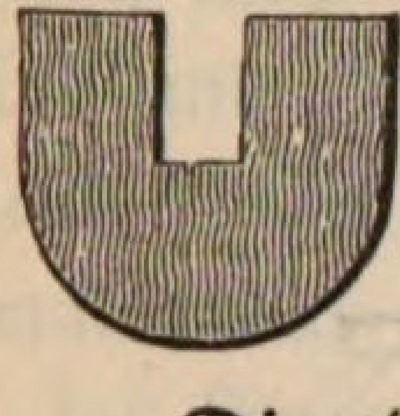
eine Oeffnung *b* ausgehauen und sie bleiben nur durch die beiden Streifen *c c* in Verbindung. An eine derselben wird ein schmaler Streifen von etwas stärkerem Bleche *d d* mit Zinn angelöthet. Jede der vier Ecken *e e e e* erhält ein Loch für einen etwa Millimeter dicken Draht. Die Zinkplatten werden von starkem — bis 1 Linie dicken — Zinkbleche in gleicher Größe wie die Platten *a a* gemacht. Die Streifen *d d* macht man alle gleich lang und löthet an das freie Ende eines jeden eine Zinkplatte; eine Kupferplatte bleibt ungepaart, und ebenso erhält auch eine Zinkplatte nur einen Kupferstreifen. Jedes Paar wird dann so gebogen, wie Fig. 385 zeigt, und die Zinkplatte des folgenden Paares zwischen die Kupferplatten des vorhergehenden gesteckt. Um dieselbe hier gehörig zu befestigen und doch von den Kupferplatten zu trennen, werden auf die beiden halbkreisförmig gebogenen Streifen *c c*, Fig. 384, mit

Fig. 385.



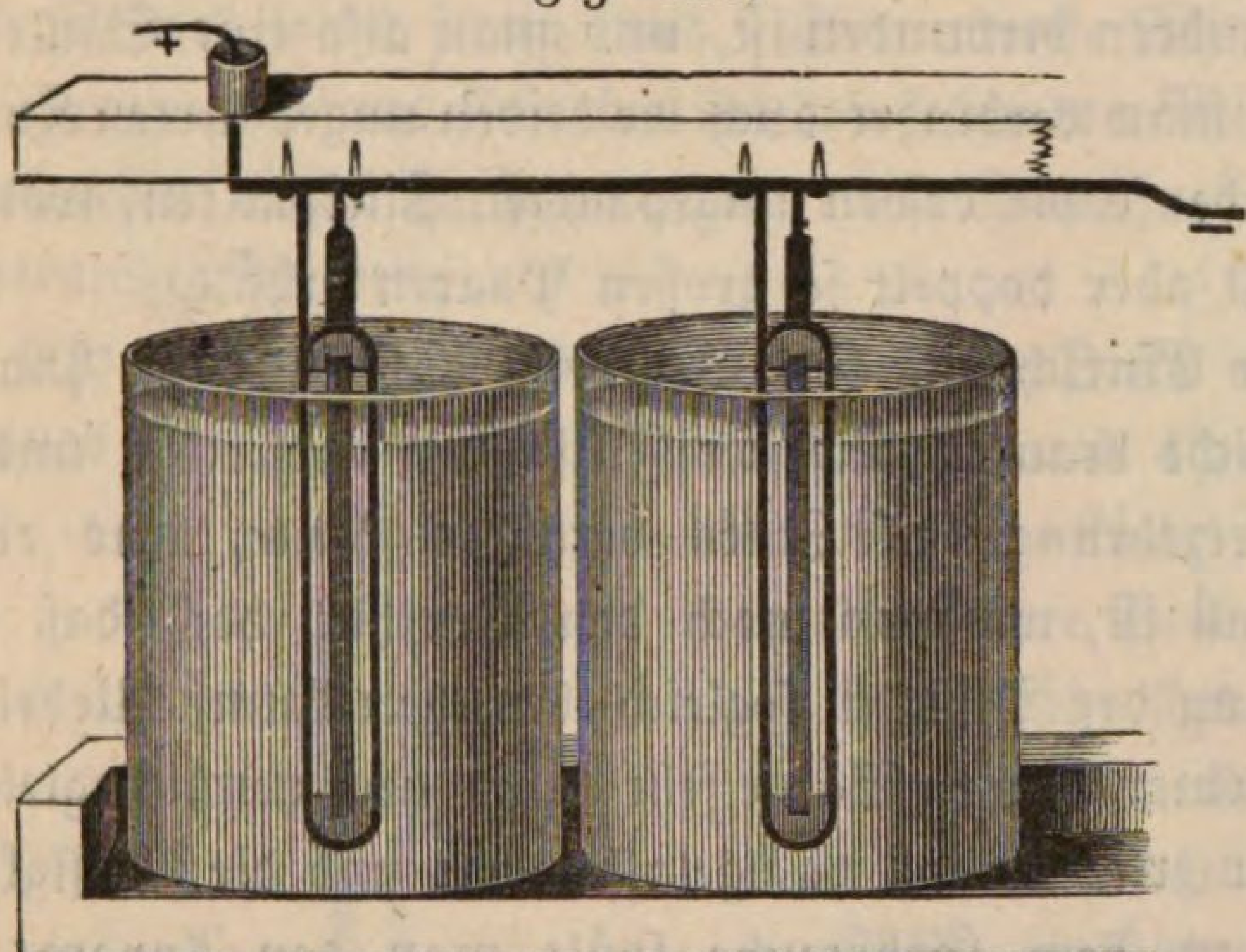
einem Ausschnitte versehene Holzstückchen, Fig. 386 in natürlicher Größe, gesetzt, und mit ihrem Ausschnitte unter die Zinkplatte geschoben; zwei gleiche Stückchen Holz kommen auch oben auf die Zinkplatte und über diese weg werden die beiden Kupferplatten durch die Löcher *e e*, Fig. 384, mittelst eines Drahtes zusammen gebunden.

Fig. 386.



Die einzelnen Paare werden, wie sie nach und nach zusammen geschoben werden, durch die Streifen *d d* mittelst Holzschrauben an eine eichene Leiste von etwa 1 □ Zoll Querschnitt befestigt, wie es Fig. 387 zeigt, woraus zugleich hervorgeht, daß sich die Länge der Streifen *d d* nach den für den Apparat bestimmten Gläsern richtet, die man also jedenfalls zuerst anschaffen muß. Müssen dieselben eigens bestellt werden, so bestellt man sie viereckig und nur etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll weit, wodurch der Apparat compendiöser wird. Zehn bis zwölf Paare macht man an eine Leiste und läßt die Kupferstreifen der ersten ungepaarten Kupfer- und der letzten ungepaarten Zinkplatte durch die Holzleiste heraufgehen, um sie entweder in Quecksilber zu leiten oder Klemmschrauben daran zu setzen.

Fig. 387.



Macht man 20—24 Paare, so kommen die anderen 10—12 in der gleichen Ordnung an eine zweite Leiste, welche durch Querstücke mit der ersten und einer mittleren verbunden werden. Die Gläser kommen auf ein hölzernes Gestell, so daß man alle Plattenpaare zugleich in dieselben senken und herausheben und über den Gläsern aufhängen kann.

Fig. 388.

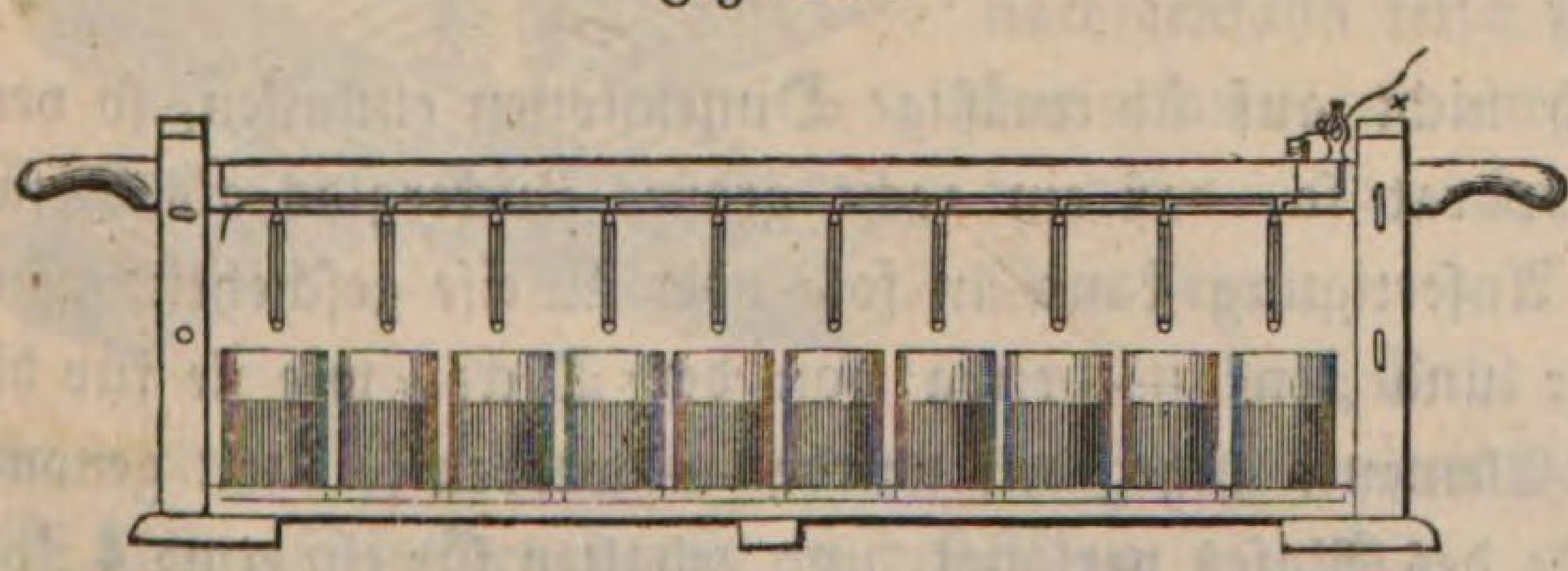
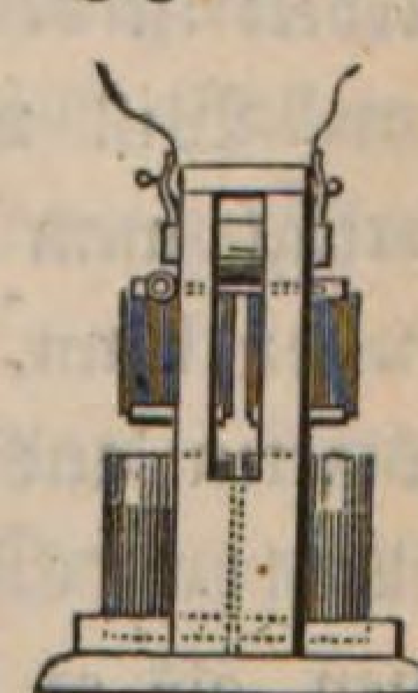
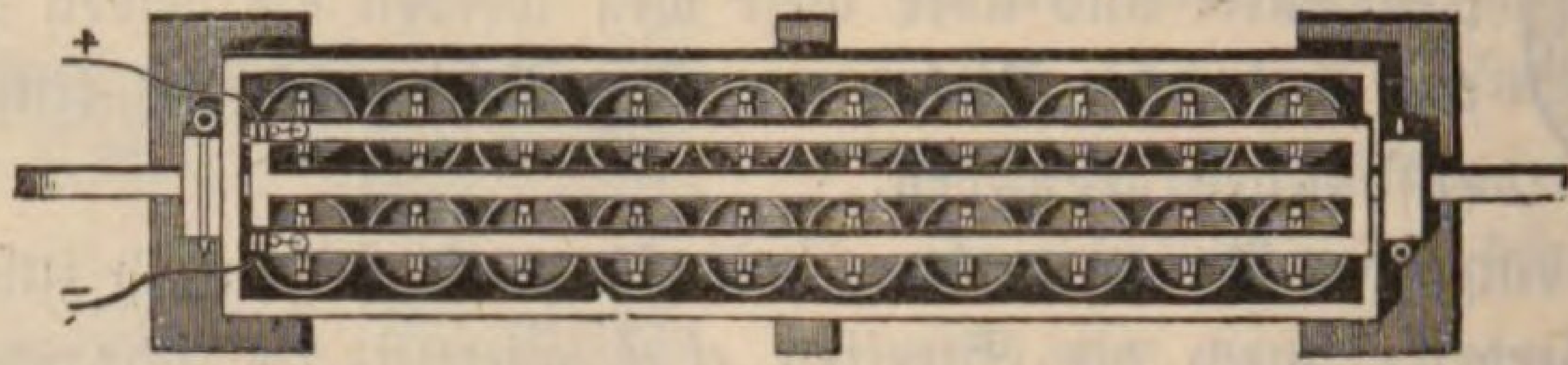


Fig. 389.



Die Fig. 388, 389 (a. v. S.) und 390 zeigen die Zusammenstellung für 20 Paare nebst dem Gestelle.

Fig. 390.



Die beiden Röhren können dabei durch Kupferdrähte je nach Bedürfniß bald so verbunden werden, daß das ungepaarte Kupfer der einen mit dem ungepaarten Zinke der andern verbunden ist, und man also eine Säule von 20 Paaren erhält; oder man verbindet auch die beiden ungepaarten Kupferplatten unter sich und ebenso die beiden ungepaarten Zinkplatten, wodurch man eine Säule von 10 aber doppelt so großen Paaren erhält.

Man hat bei dieser Einrichtung den Vortheil, daß man die Platten, sobald man die Säule nicht braucht, aus der Flüssigkeit entfernen und dadurch die unnöthige Verzehrung des Zinks verhüten kann, was ebenso beim Eintauchen der Fall ist, wo man noch den Vortheil hat, daß man die erste stärkere Wirkung der Platten sogleich benutzen kann. Uebrigens erhält sich die Wirkung einer solchen Säule sehr lange auf ziemlich gleichem Grade, wenn einmal der erste Anstoß nachgelassen hat und die Flüssigkeiten nicht zu stark sind. Nach dem Gebrauche spült man den Apparat nur mit reinem Wasser aus; ein weiteres Putzen ist bei demselben nicht wohl möglich; wird es mit der Zeit etwa nöthig, so muß man den Apparat auseinander nehmen, was ziemlich Arbeit macht.

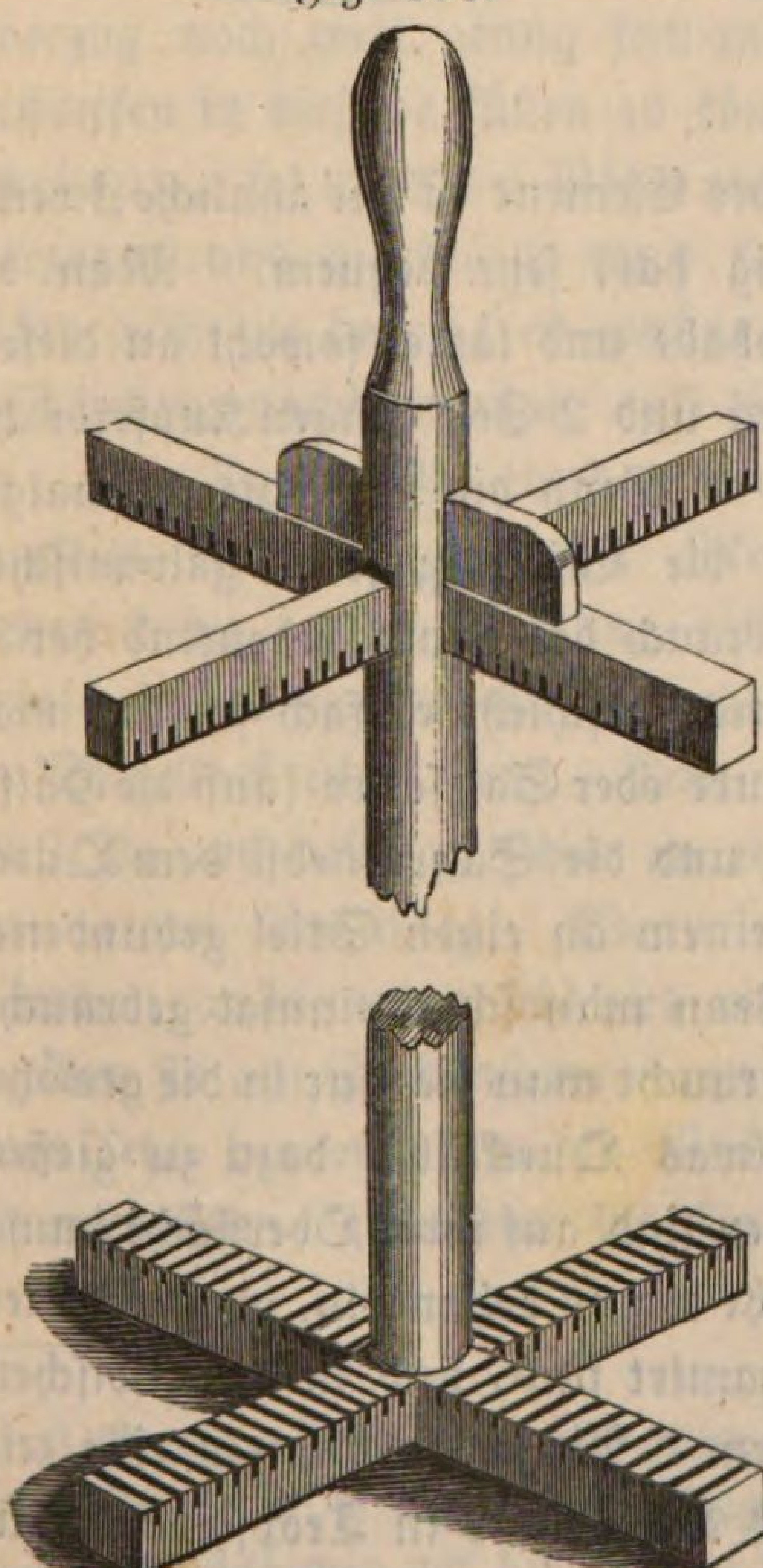
241 **Die Hare'sche Spirale.** Ein solches Element gibt, wenn es auch nicht in dem riesigen Maaßstabe von 50 und noch mehr Quadratfuß ausgeführt ist, und sich nur auf 1—2 Quadratfuß beschränkt, doch einen sehr starken elektrischen Strom und ist daher sehr brauchbar, wenn man nicht auf längere Zeit constante Ströme nöthig hat. Es empfiehlt sich dabei noch durch seine verhältnißmäßige Wohlfeilheit und große Bequemlichkeit im Gebrauche. Man braucht dasselbe nämlich nur in das dazu bestimmte Gefäß einzusetzen, um sogleich einen kräftigen Strom zu erhalten; nach dem Gebrauche gießt man reines Wasser durch, und die ganze Arbeit ist beendigt.

Will man sich nicht auf übermäßige Dimensionen einlassen, so verfertigt man den Apparat so, daß ein recht großes Zuckerglas als Gefäß dienen kann. Die Anfertigung kann in folgender Weise geschehen. Die Platten aus Kupfer und Zink — etwa von der Dicke, wie sie für die Wollaston'schen Elemente angegeben wurde — werden so breit genommen, als es die Höhe des Glases verlangt, und erhalten für ein etwa 4 Zoll

weites Glas eine Länge von 3 Fuß. Man nimmt die Kupferplatte zur äußeren Windung und läßt sie darum etwa $1/2$ Fuß länger, was übrig bleibt, kann später mit der Scheere leicht abgeschnitten werden. Zwischen Zink und Kupfer und auf das letztere legt man je einen mit den Platten gleich breiten, weichen, aber etwa eine Linie dicken Streifen von Pappe, und klemmt das schmale Ende des Packs zwischen zwei Eisenstäbe von etwa 1 Zoll Breite und 3—5 Linien Dicke, indem man die Stäbe an beiden Enden zwischen Feilkloben spannt. Nachdem man die Bleche auf der eingespannten Seite mehr als handwarm erwärmt hat, treibt man sie mit einem hölzernen Hammer um den Stab herum, womit ein Blechner oder Kupferschmied leicht fertig wird. Die innerste Windung wird dabei freilich nicht ganz rund, was sich aber bei den folgenden Windungen bald ausgleicht und ohnehin nichts zu sagen hat. Die Pappstreifen werden nachher wieder herausgenommen.

Ein runder Stab von entsprechender Dicke erhält nun einerseits ein hölzernes Kreuz, Fig. 391, fest aufgekeilt, und oberhalb zwei sich kreuzende viereckige Löcher, um zwei weitere, etwas schwächere Stäbe durchstecken zu können. Die Stäbe sind zur Hälfte in einander eingeschnitten und das eine Loch erhält die doppelte Höhe des andern, um die Stäbe einführen zu können; ein Keil hält dann die Stäbe fest. Diese beiden Kreuze müssen um 2—3 Linien näher beisammen sein, als es die Höhe der Spirale verlangt. Nachdem diese dazwischen gestellt ist, zeichnet man die Stellen, wo die einzelnen Windungen sie berühren und macht hier der Dicke der Platten entsprechende Einschnitte, welche dazu dienen, die Windungen von einander getrennt zu erhalten. Man kann so die beiden Platten auch wieder auseinander nehmen, um das Zink nöthigenfalls frisch zu amalgamiren, indem man es mit etwas Quecksilber allein in das mit verdünnter Säure gefüllte Glas setzt.

Fig. 391.



An das Ende jeder Platte kann man einen dicken Kupferdraht anlöthen, um bequem andere Drähte mittelst Klemmschrauben daran zu befestigen.

Fig. 392 zeigt den fertigen Apparat. Für ganz große Spiralen wendet man hölzerne Gefäße an, und macht die Einrichtung, wie sie Fig. 393 zeigt.

Fig. 392.

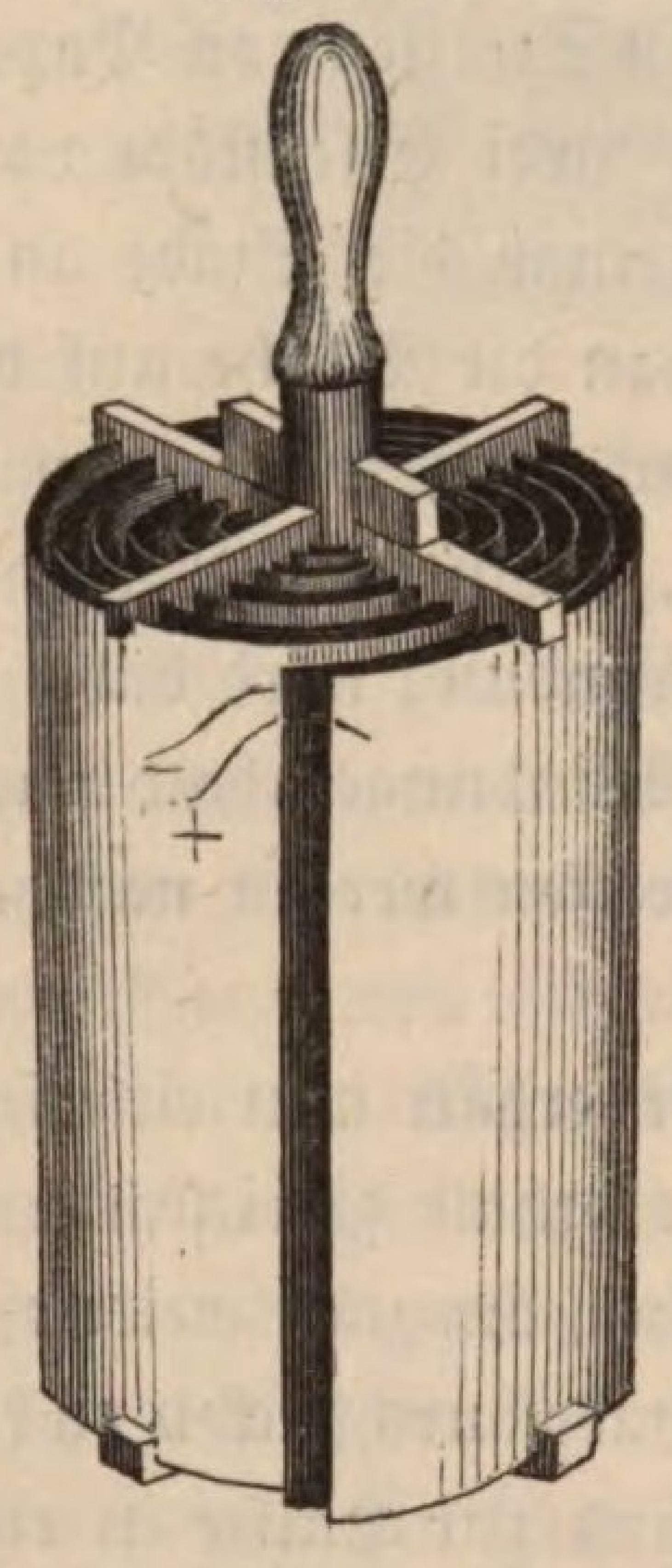
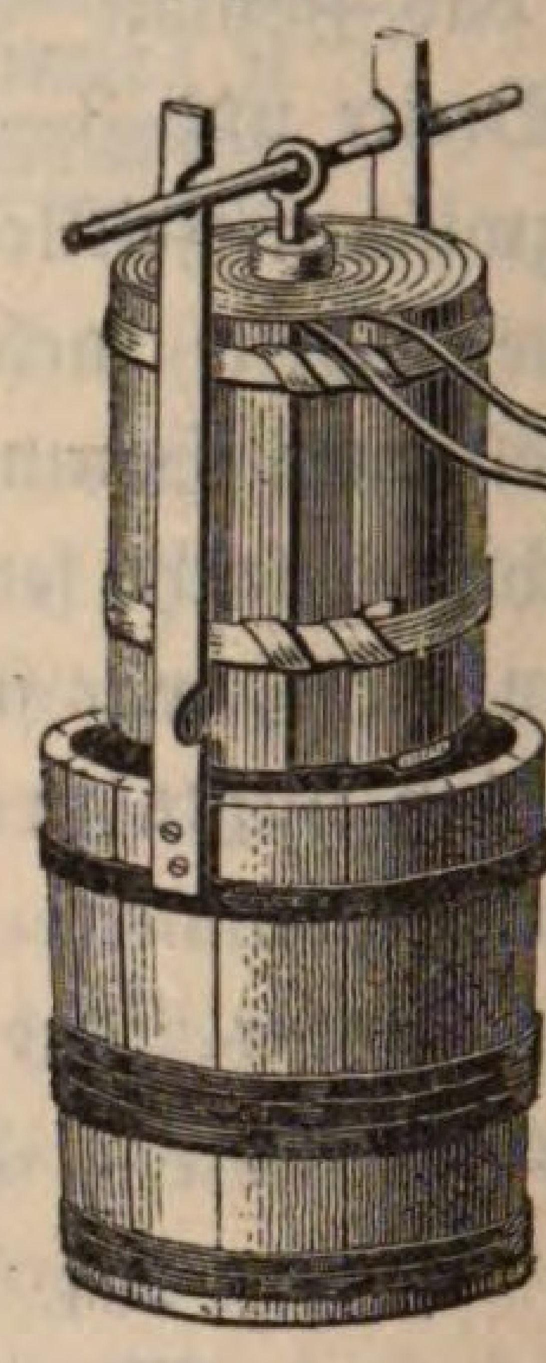


Fig. 393.



Auch ein einzelnes Wollaston'sches Element ist für ähnliche Zwecke, wenn man weniger starke Ströme nöthig hat, sehr bequem. Man befestigt dann an das Kupfer eine Handhabe und löthet sowohl an dieses, als an das Zink einen etwa ½ Linie dicken und 2 Zoll langen Kupferdraht.

242 **Das Amalgamiren des Zinks.** Wenn die Zinkplatten amalgamirt werden, so wird dadurch nicht nur die Wirkung jedes galvanischen Apparates erhöht, sondern auch der Verbrauch des Zinks bedeutend herabgesetzt. Das Amalgamiren neuer Zinkplatten geschieht einfach so, daß man in eine Tasse etwas verdünnte Schwefelsäure oder Salzsäure (auf die Hälfte etwa verdünnt) und Quecksilber nimmt und die Säure nebst dem Quecksilber mittelst einer kleinen Bürste oder einem an einen Stiel gebundenen Läppchen auf dem Zinke ausbreitet. Wenn man schon einmal gebrauchte Zinkplatten frisch amalgamiren will, so braucht man sie nur in die gewöhnliche Ladungsflüssigkeit zu stellen und etwas Quecksilber dazu zu gießen, es breitet sich von selbst aus; neue Platten sind auf ihrer Oberfläche immer etwas schmutzig, darum kann man sie nicht ebenso behandeln, oder es dauert wenigstens ziemlich lange, bis sie amalgamirt sind, und in der Zwischenzeit wird das Zink sehr lebhaft angegriffen. Wenn die Platten eine zeitlang ungebraucht stehen, so zieht sich das Quecksilber in Tröpfchen zusammen; es breitet sich aber sogleich wieder aus, wenn die Platten in die Ladungsflüssigkeit kommen. Bei solchen Elementen, wo das Zink in einer gesonderten Zelle steht, hat man mit dem Amalgamiren gar keine Arbeit,

man gießt hier nur geradezu etwas Quecksilber in die Zelle. Sollten aber die im vorigen Paragraphen beschriebenen Wollaston'schen Elemente frisch amalgamirt werden müssen, so taucht man sie in die verdünnte Säure, die zum Laden gebraucht wird, zieht sie wieder heraus und gießt an jeder Zinkplatte ein paar Tropfen Quecksilber hinunter, indem man das ablaufende durch einen untergehaltenen Teller auffängt und dann sogleich die Säule wieder einsetzt.

Quecksilber, das einmal zu diesen galvanischen Apparaten gebraucht wurde, muß besonders aufbewahrt werden, weil es zu keinen anderen Versuchen mehr brauchbar ist, ohne daß man es vorher wieder reinigt.

Die Zambonische Säule. Das Wichtigste über die Construction 243
dieser Säulen wurde bereits bei Gelegenheit des Bohnenberger'schen Elektrometers angeführt. Will man eine solche Säule abgesondert machen, um daran die Erscheinungen der Spannung deutlich zeigen zu können, so füllt man Scheibchen von etwa $1/2$ — 1 Zoll Durchmesser in eine innerhalb mit geschmolzenem Siegellack überzogene Glasröhre*), die auch nach diesem Ueberzug noch weit genug sein muß, um die Scheibchen leicht und ohne Anstreifen in dieselbe füllen zu können. Streifen die Blättchen beim Hineinbringen, so wird die Röhre innerhalb mit einem feinen Metallanflug überzogen und die Säule wird fast wirkungslos. Fassungen braucht die Röhre nicht zu haben; es genügt, sie mit recht trockenen Korkstöpseln zu verschließen, nachdem man auf die letzten Blättchen Messingbleche gelegt hat. Die Korkstopfen werden vorher so durchbohrt, daß ein etwas dicker einerseits wohl abgerundeter Messingdraht gerade noch durchgeschoben werden kann. Die Reibung dieses Drahtes genügt, um die Scheibchen gehörig zusammengepreßt zu erhalten; überdies werden zuletzt die Korke mit Siegellack überzogen. Eine solche Säule gibt, wenn sie aus etwa 1000 Paaren besteht, schon an einem empfindlichen Strohhalm-Elektrometer einen Ausschlag. Wenn man nur ein bis zwei Dutzend solcher Blättchen aufeinander schichtet und mit Seide der Länge nach umbindet, so geben sie am Condensator einen Ausschlag. Eine solche Säule ist überhaupt sehr bequem, um die Wirkung des Condensators zu demonstriren, und man kann daran auch den Unterschied der Spannung an ihren Polen

---

*) Man erwärmt hiezu die Glasröhre von einem Ende aus und läßt das in kleinen Stückchen hinein gelegte Siegellack darin schmelzen; es breitet sich leicht und sehr gleichförmig auf der inneren Seite der Röhre aus. Es ist dieses das sicherste Mittel, die Röhre gehörig isolirend zu machen; doch bleibt der Apparat schöner, wenn die Röhre an sich gut isolirt, und dann innerhalb nur mit gebleichtem Schellack gefirnißt wird, da man so die Blättchen selbst sehen kann.

im isolirten und nicht isolirten Zustande zeigen. Baut man eine solche Säule von etwa 1000 Paaren offen auf einem Brettchen zwischen drei Glasstäben auf und bewirkt die Pressung durch zwei gekreuzte Seidenschnüre, welche durch das Brettchen gehen und unterhalb gebunden werden, so kann man von 100 zu 100 kleine Lappen vorstehen lassen und an diesen die allmälig wachsende Spannung zeigen.

244 **Constante Ketten.** Braucht man für eine mehrere Stunden dauernde Arbeit einen gleichmäßigen und zugleich starken elektrischen Strom, so muß man sich der constanten Ketten bedienen, bei welchen die beiden Metalle durch eine poröse Scheidewand getrennt sind und jedes eine eigene Flüssigkeit erhält. Als Scheidewand kann eine einfache oder doppelte Schweins- oder Rinderblase dienen, doch haben dieselben mancherlei Unbequemlichkeiten und sind daher jetzt so ziemlich von porösen Thongefäßen verdrängt. Nur bei galvanoplastischen Arbeiten bedient man sich noch sehr oft der Blasen, und sie sind in der That dabei sehr bequem; das Element hat aber dann überhaupt eine eigenthümliche Einrichtung und soll bei jener Gelegenheit beschrieben werden.

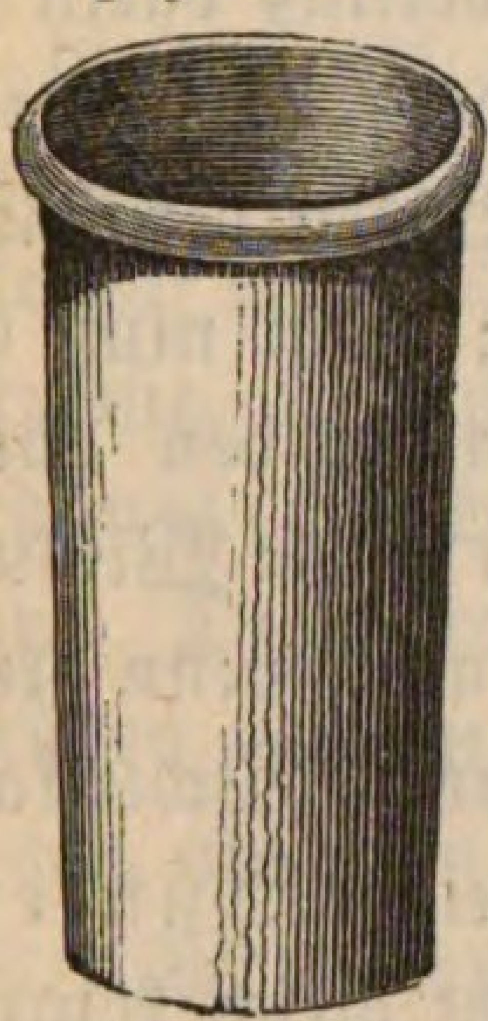
Die porösen Thonzellen werden theils aus einer Porcellanmasse, theils aus Pfeifenthon, theils aus gewöhnlichem eisenfreien Thon unter Zusatz von gemahlenem Quarz gemacht, oder auch in einer hölzernen Form aus Gyps gegossen. Die Porcellanzellen sind allerdings sehr gut und zugleich auch stärker als die andern. Die gewöhnlichen käuflichen Thonzellen sind bald aus Pfeifenthon, bald aus gewöhnlichem Thon; erstere sind vorzuziehen, da sie sich dünner ausarbeiten lassen, allein auch die gewöhnlichen leisten sehr gute Dienste. Jeder Hafner kann dieselben aus sogenannter Weißerde und feinem Sande anfertigen, und wird bald nach ein paar Versuchen die richtige Mischung finden. Angeben läßt sich dieselbe nicht, wegen der Verschiedenheit des Thons. Man muß hauptsächlich darauf sehen, daß sie gleichförmig und möglichst dünn ausgearbeitet werden; was um so eher geschehen kann, da man sie jetzt gewöhnlich in cylindrischer Form anwendet. Zellen aus Gyps müssen im feuchten Zustande sehr vorsichtig behandelt werden.

Gute Thonzellen müssen, wenn man Wasser darein gießt, in einer Minute außerhalb ganz feucht werden; Zellen aus Pfeifenthon werden schon in 20—30 Secunden feucht. Sie dürfen aber keine Risse haben, also das Wasser nicht durchträufeln lassen; ist dieses der Fall, so dringt die Salpetersäure zum Zink, und dieses wird schwarz, woran man eben schadhaft gewordene Thonzellen bald erkennt.

Zu ihrer Erhaltung ist es durchaus nöthig, daß sie nach jedesmaligem Gebrauche ausgespült, und etwa noch 24 Stunden lang in einen

Kübel voll reines Wasser gelegt werden; ohne diese Vorsicht werden sie bald mürbe und zerbrechen beim geringsten Stoße.

Fig. 394.



Ihre Form, Fig. 394, muß gut rund sein, damit die Flüssigkeit zwischen ihnen und den Metallen durchweg eine dünne Schichte bilden kann. Die Größe richtet sich natürlich nach jener der Elemente, welche gebaut werden sollen; doch läßt man dieselbe um nicht mehr, als ihr oberhalb etwas verstärkter Rand beträgt, über das äußere Metall hervorragen. Die vorzüglichsten Zellen, die dem Verfasser bis jetzt zur Hand kamen, waren in Bezug auf geringen Leitungswiderstand von Mechanikus Stöhrer in Leipzig ausgezeichnet; sie übertrafen weit die Pariser Porcellanzellen.

Die Daniell'sche constante Kette. Sie besteht aus Kupfer und 245
Zink; zum Kupfer kommt eine Kupfervitriollösung, zum Zink verdünnte Schwefelsäure. Das Kupfer kann hier beliebig dünn genommen werden, da es durch die Thätigkeit der Kette selbst aus dem zersetzten Kupfervitriol nach und nach verstärkt wird. Es ist gleichgültig, ob man das Kupfer oder das Zink als äußeres Metall nimmt, also gleichgültig, welches die größere Fläche hat. Man richtet sich daher hierin am besten danach, ob etwa die ebenfalls noch vorhandenen Bunsen'schen Ketten die Kohle als äußeres oder inneres Glied haben, damit man dasselbe Zink zu beiden Ketten brauchen kann. Bei Grove'schen constanten Ketten hat aus sehr nahe liegenden Gründen immer das Zink die größere Fläche.

Als Gefäß dient gewöhnlich ein Zuckerglas, das man stets von beinahe beliebiger Größe haben kann. Zink und Kupfer werden cylindrisch zusammengebogen, so daß beide den Wänden der cylindrischen Thonzelle möglichst nahe kommen. Das Zink muß dabei bis 60—80° R. erhitzt werden, besonders wenn es in die Thonzelle kommen soll, weil dasselbe sonst beim Zusammenbiegen brechen würde; amalgamirt wird dasselbe dann zuletzt. Beide Bleche erhalten ein schmales Kupferblech angelöthet, wie *a* Fig. 395 zeigt, welches bei jedem Blech bis ein wenig über das Glas herausragen muß, um entweder die nöthigen Leitungsdrähte an dasselbe schrauben, oder das Element mit andern verbinden zu können. Das äußere Metall läßt man gewöhnlich um die Breite dieser Löthstelle, also etwa Fingerbreit über das Glas, und das innere eben so breit über die Thonzelle hervorragen. Fig. 396 (a. f. S.) zeigt ein solches Element in seiner Zusammensetzung.

Fig. 395.

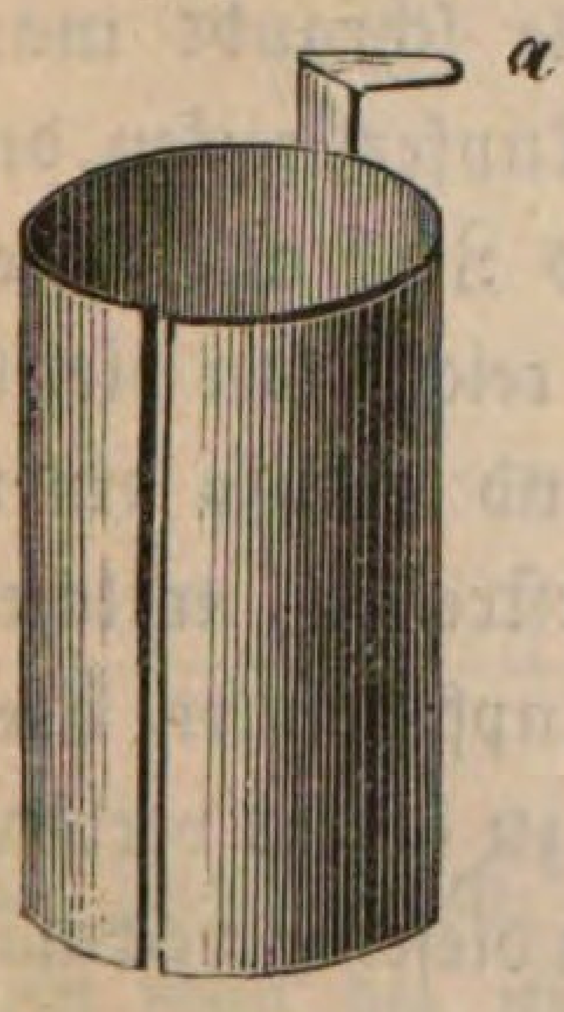
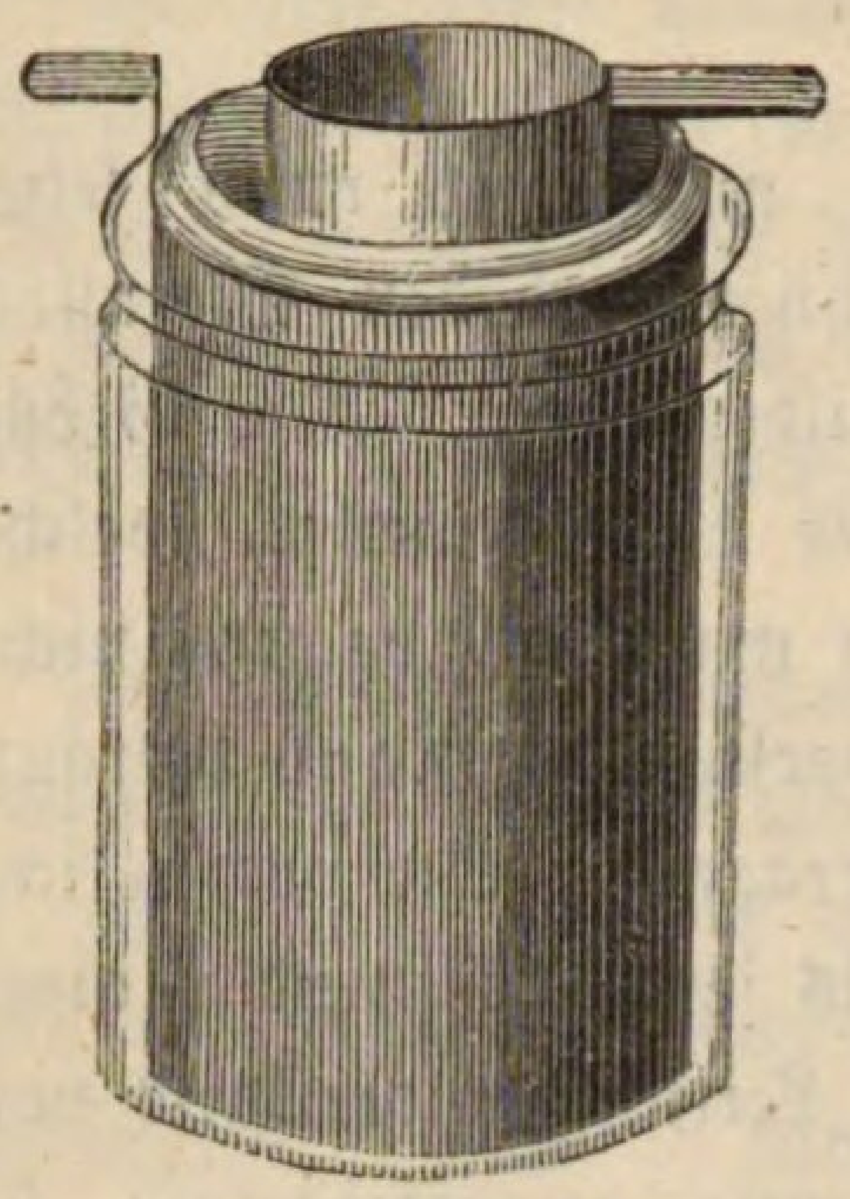


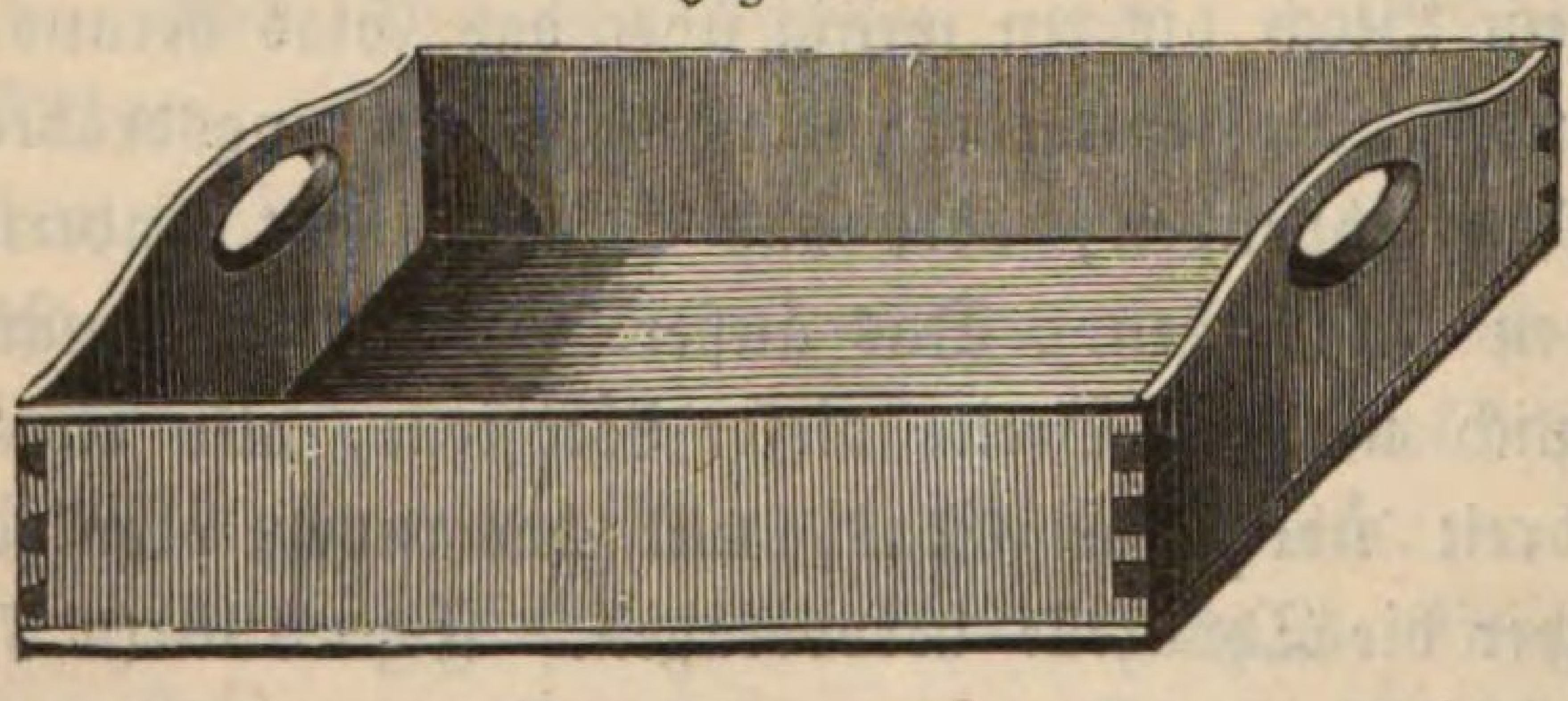
Fig. 396.



Da die gleichförmige Wirkung dieses Elements von dem stets gesättigten Zustande der Kupfervitriollösung abhängt, so muß sich krystallinischer Kupfervitriol stets im Ueberfluß darin befinden. Es genügt aber nicht denselben hineinzulegen, weil sonst nur die am Boden befindliche Schichte der Lösung gesättigt ist; man muß den Vitriol in einem Florbeutelchen in den obern Theil des Gefäßes hängen; dann ist die Wirkung eines solchen Elementes sehr constant, wenn gleich die Stromstärke durch seinen eigenen Widerstand sehr geschwächt ist, und derjenigen einer Bunsen'schen Kohlenkette von gleichen Dimensionen bei weitem nicht gleich kommt. Dagegen hat es den Vortheil, daß es noch andauernder in Thätigkeit gelassen werden kann als jene, wohlfeiler im Anschaffen ist und den Uebelstand mit den salpetrigsauren Dämpfen nicht hat, wie jenes. Aus letzterem Grunde ist es besonders zu empfehlen, wo der Apparat in Werkstätten u. dergl. aufgestellt werden soll und also die salpetrigsauren Dämpfe den übrigen Geräthschaften schädlich werden können. Statt der Schwefelsäure kann man beim Zink auch Kochsalzlösung anwenden; dann muß man aber noch ein Beutelchen mit Kochsalz einhängen. Sollten solche Elemente sehr lange gebraucht werden — mehrere Wochen lang, so wird es nöthig, von Zeit zu Zeit durch einen Heber einen Theil der alten Lösungen zu entfernen und frische zuzusetzen; besonders ist dieses beim Zink der Fall.

Sollen mehrere solche Elemente verbunden werden, so können sie entweder zur Säule angeordnet werden, oder als ein einziges Element von ebensovielmal größerer Oberfläche, als man Elemente hat. Im ersten Falle schraubt man mittelst Klemmschrauben, wie Fig. 377, das Kupfer des einen Paares an das Zink des andern, wobei man die Elemente so gegen einander anordnet, daß die beiden Pole der Säule möglichst nahe neben einander zu liegen kommen, was natürlich je nach der Zahl der Elemente eine andere Stellung erfordert; im letztern Falle schraubt man einen Kupferstreifen, der an das Zink aller Elemente reicht, an dieselben und ebenso einen Kupferstreifen, welcher das Kupfer aller Elemente zu einem verbindet, an diese. Zweckmäßig ist es auch, ein mit

Fig. 397.



einem Rande versehenes Tragbrettchen Fig. 397 zu haben, welches gerade die vorhandene Zahl der Elemente in zweckmäßiger Anordnung faßt.

Die Grove'sche Kette. Anstatt Kupfer enthält dieselbe Platin und 246
bei diesem als Ladungsflüssigkeit concentrirte Salpetersäure, ist aber im übrigen angeordnet wie die Daniell'sche Kette, und hat beim Zink ebenfalls auf etwa $1/_5$—$1/_{10}$ verdünnte Schwefelsäure. Braucht man sehr starke Ströme, so nimmt man die Schwefelsäure stärker, selbst nur zur Hälfte verdünnt; es kommt hierauf mehr an, als auf die Stärke der Salpetersäure. Diese Kette gibt unter allen Combinationen für gleiche Größe den stärksten Strom, ist aber in der ersten Anschaffung theuer, doch nicht so theuer, als man glauben sollte, wenn man auch hier an das Selbstmachen geht. Man kann nämlich Platin in sehr dünnem Bleche dazu verwenden, da es sich ja nur um die Oberfläche handelt, und von solchem Bleche kommen 40—50 □ Zolle nicht über ungefähr 8—9 Fl., wobei für die Façon höchstens etwa $1/_6$ des bleibenden Metallwerthes gerechnet ist. Allerdings ist solches Blech sehr dünn, allein Sorgfalt in der Behandlung der Apparate muß man sich ohnehin vor Allem angewöhnen. Die Ladung mit concentrirter Salpetersäure, welche dabei zersetzt wird, kommt zwar etwas theurer, als der Verlust, den man für gleiche Stromstärke am Kupfervitriol der Daniell'schen Kette erleidet (versteht sich nach Abzug des gewonnenen Kupfers). Die Anfertigung geschieht am einfachsten so, daß man die ganze Disposition, wie sie im vorigen Paragraphen für die Daniell'sche Kette angegeben wurde, beibehält, und geradezu nur das Kupfer durch Platin ersetzt, wobei das dünne Platinblech zwischen einen umgebogenen schmalen Kupferstreifen eingenietet wird. Besser ist es, wenn man einen auf die Thonzelle passenden hölzernen Deckel richtet, und an dem Platinbleche in der Mitte einen Lappen hervorstehen läßt, Fig. 398, welchen man zwischen einen gleich breiten, umgebogenen Kupferstreifen, Fig. 399, einnietet; in die Mitte des Deckels macht man sodann einen Schlitz und schneidet von diesem aus eine S förmige, etwa $1/_2$ Linie tiefe Rinne, Fig. 400 (a. f. S.), in den Deckel; durch den Schlitz wird der Kupferstreifen gesteckt, Fig. 401 (a. f. S.), das Platinblech S förmig gebogen und in die Rinne gesteckt; zuletzt übergießt man die untere Seite des Deckels mit nicht zu sprödem Kolopho=

Fig. 398.

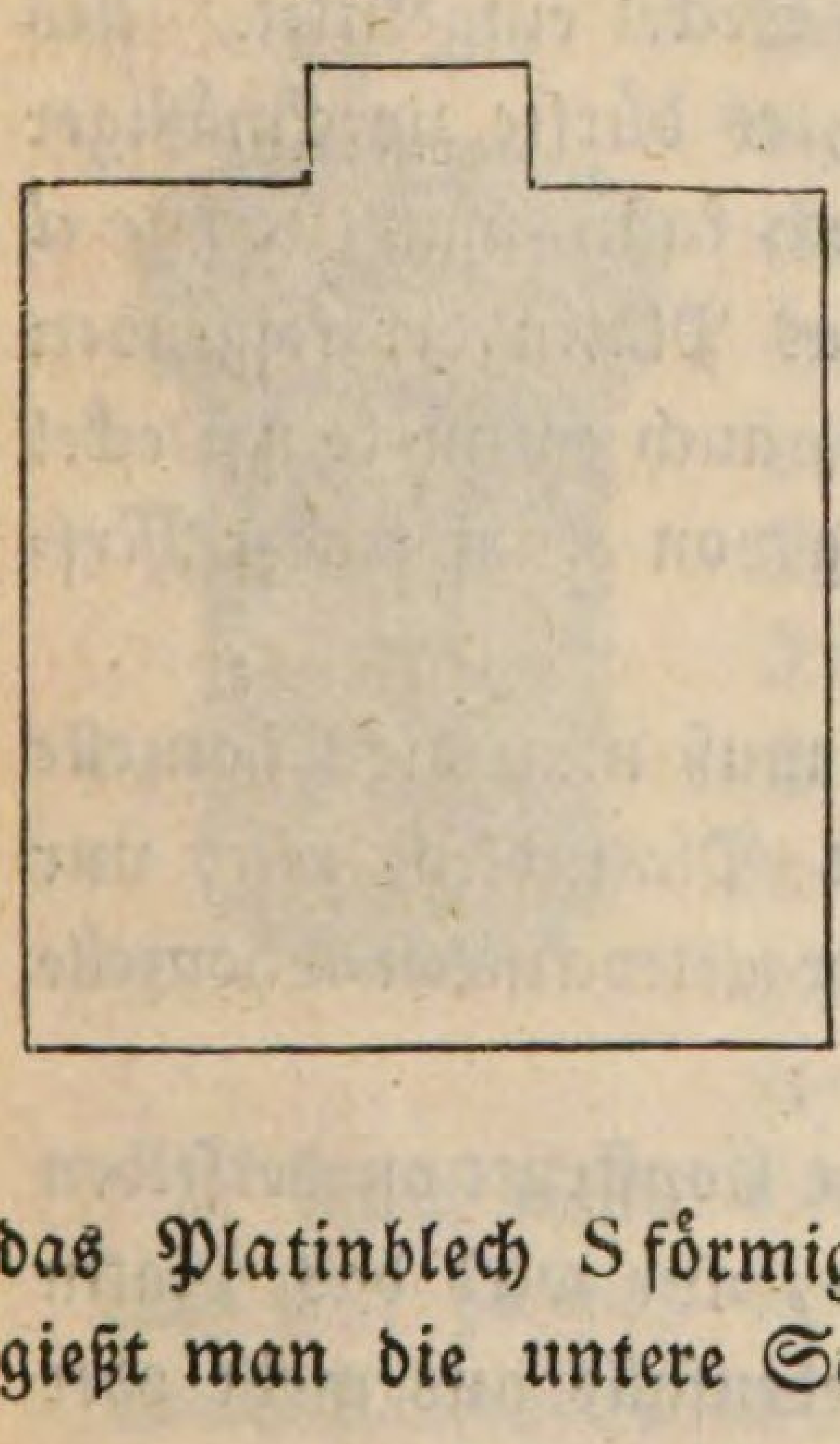


Fig. 399.



nium, um das Platin in seiner Lage zu erhalten. Der Deckel hat noch den Vortheil, daß die salpetrigsauren Dämpfe mehr in der Thonzelle zurückgehalten werden. Die Platinbleche werden von 6—20 Quadratzoll genommen. Will man mehr darauf verwenden, so macht man besser mehrere Elemente, die man dann, wie bei der Daniell'schen Kette, nach Belieben als ein einziges Element, oder als Säule combiniren kann. Die Verbindung geschieht entweder

Fig. 400.

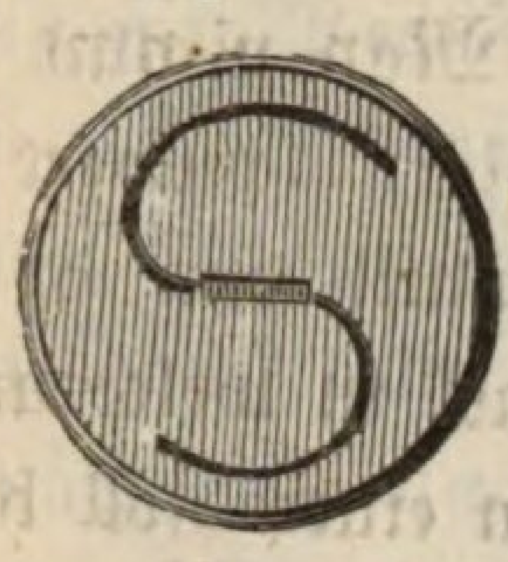


Fig. 401.

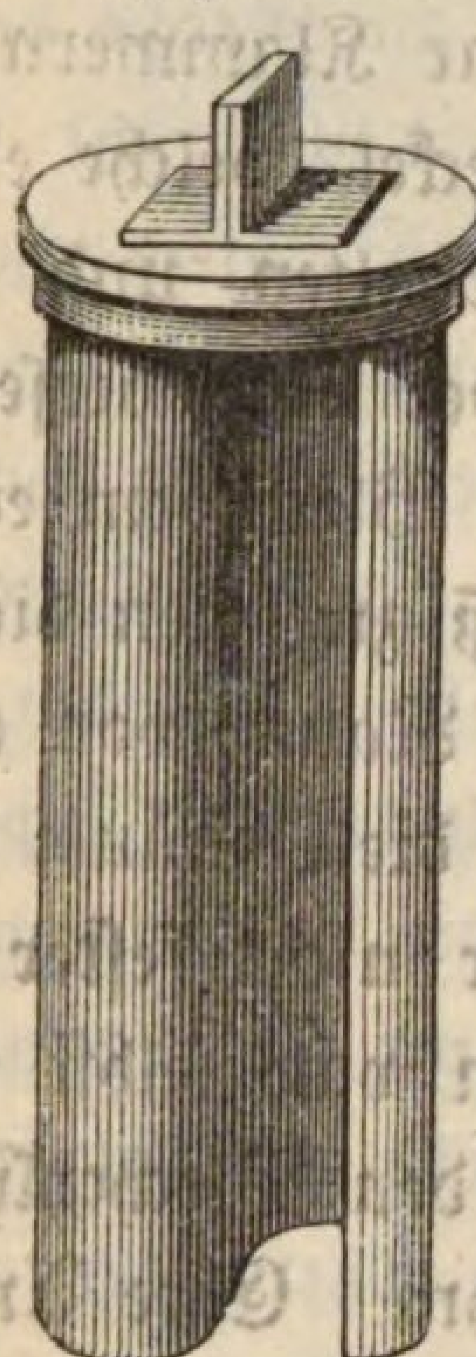


Fig. 402.

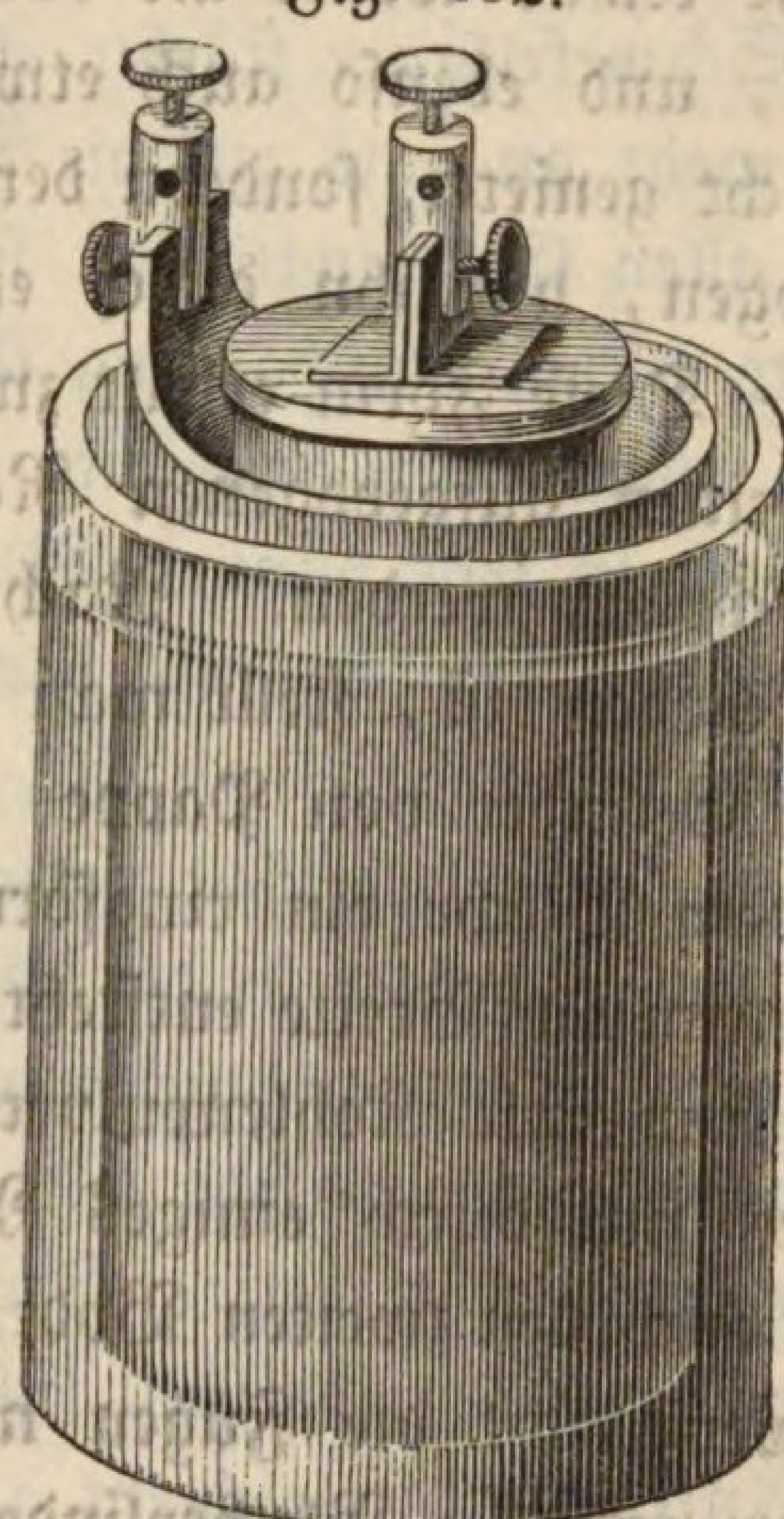
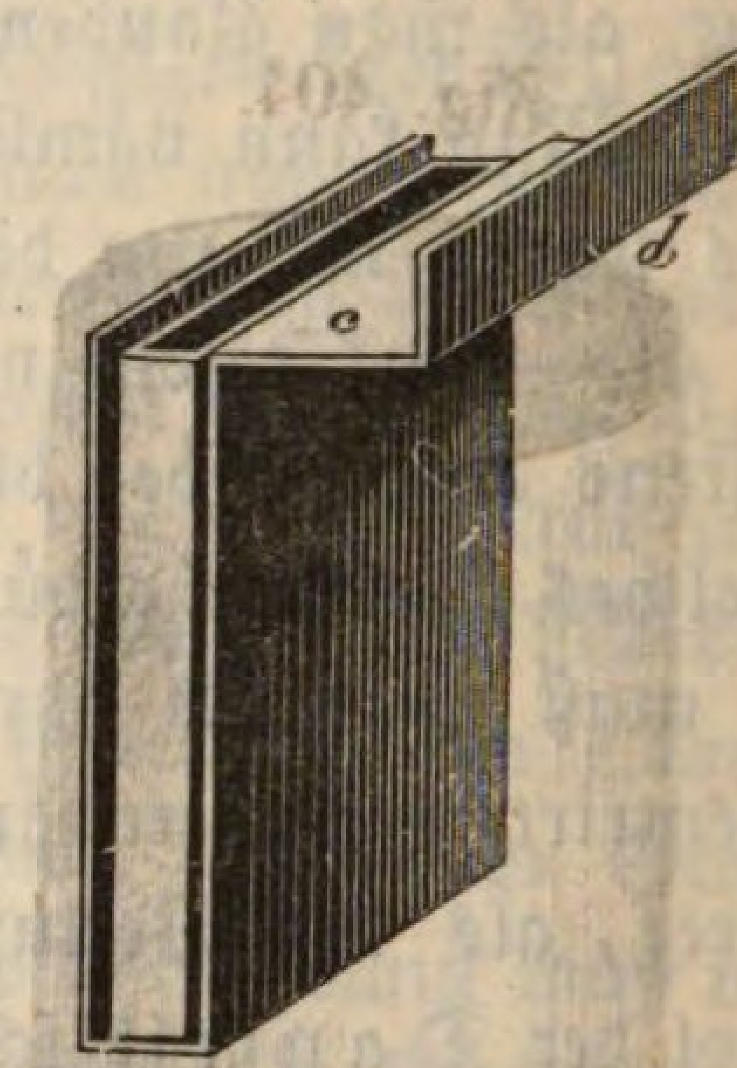


Fig. 403.



durch Kupferstreifen und Klemmschrauben, wie Fig. 377, oder durch dicke Kupferdrähte und Klemmschrauben, wie Fig. 378. Fig. 402 zeigt eine solche Kette in ihrer Zusammensetzung. Eine andere Form der Grove'schen Batterie zeigt Fig. 403, die Zelle bildet hier einen parallelepipedischen Trog, um welchen das Zink herumgebogen ist. Das Platinblech wird hier gerade gelassen und ebenfalls in einem Deckel eingekittet. Als Gefäße kann man dennoch runde Gläser anwenden, es dürfte zweckmäßiger sein, als hölzerne, ausgepichte Tröge. Das Zinkblech kann man nach *c d* zweimal rechtwinklicht biegen, um an *d* sogleich das Platin der folgenden Zelle anschrauben zu können, welches zu dem Ende, auch wenn kein Deckel angewendet wird, dennoch ebenfalls eine Verstärkung von Kupfer oder Messingblech aufgenietet bekommt.

Nach dem Gebrauche eines solchen Elements muß man die Thonzelle besonders gut mit reinem Wasser auslaugen. Das Platinblech wird nur abgespült und am zweckmäßigsten in seiner wieder getrockneten Thonzelle aufbewahrt.

247 **Die Bunsen'sche Zinkkohlenkette.** Die Construction derselben kommt mit jener der Grove'schen Kette überein, nur wird das Platin durch Kohlencylinder vertreten; die Ladung besteht ebenfalls aus mehr oder

weniger verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure. Die Kohlen erfordern eine besondere Zubereitung und nicht überall werden die passenden Kohlensorten leicht zu bekommen sein.

Die Verfertigung geschieht auf folgende Weise. Man nimmt dem Gewichte nach zwei Theile Coaks und ein Theil Backkohlen, pulvert dieselben fein und siebt sie durch. Das Kohlenpulver kommt nun in eine Form aus Eisenblech, welche etwas weiter als das Glas, in welchem die Kohle gebraucht werden soll, und ebenso auch etwa um einen Zoll höher ist. Die Blechform wird nicht genietet, sondern der Rand etwa einen halben Zoll weit auswärts gebogen, um ihn durch ein paar Klammern zusammenzuhalten, Fig. 404. Diese Form erhält zwei Deckel, welche ebenfalls einen aufgebogenen Rand erhalten und nur aufgeschoben werden. Nachdem der eine derselben aufgeschoben ist, stellt man in die Blechform einen hohen Cylinder von Pappe, so daß zwischen diesem und dem Bleche ein ringförmiger Raum von etwa 3 Centimeter Breite entsteht, und diese Säule füllt man nun mit Kohlenpulver, aber nicht fester an, als es sich durch einiges Rütteln von selbst setzt, steckt auch den zweiten Boden auf den Blechcylinder und verstreicht die Fugen mit Lehm. Eine Anzahl solcher gefüllter Blechcylinder werden nun in einem Ofen zwischen Holzkohlen roth glühend gemacht, und so lange in der Glühhitze erhalten, bis kein Kohlenwasserstoffgas mehr entweicht und verbrennt, was etwa 3/4 Stunden erfordert. Nach dem Erkalten sind die Kohlen so fest, daß man sie auf der Drehbank bearbeiten kann. Sie werden hier auf allen Seiten abgedreht und erhalten die Form Fig. 405. Die Länge des engeren Cylinders muß dabei etwas kürzer sein als die Höhe des Glases, damit der breitere obere Theil auf dem Rand des Glases aufsitze und dasselbe so auf der äußeren Seite verschließe; der engere Theil muß leicht in das Glas hineingehen. Auch innerhalb werden die Kohlencylinder ausgedreht und behalten am engeren Theile nur noch eine Stärke von 5 — 6 Millimeter. Die Kohlencylinder werden auf der Drehbank in einem weitgeschlitzten hölzernen Hohlfutter mit eisernem verschiebbaren Ringe aufgespannt, eine Vorrichtung, die jeder Drechsler kennt.

Fig. 404.

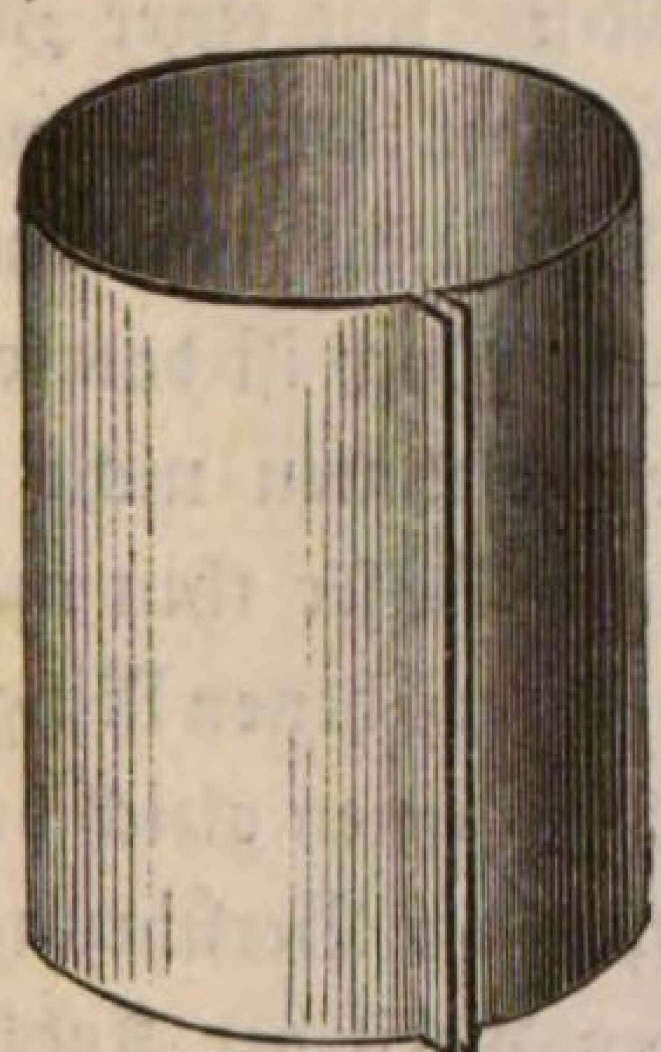
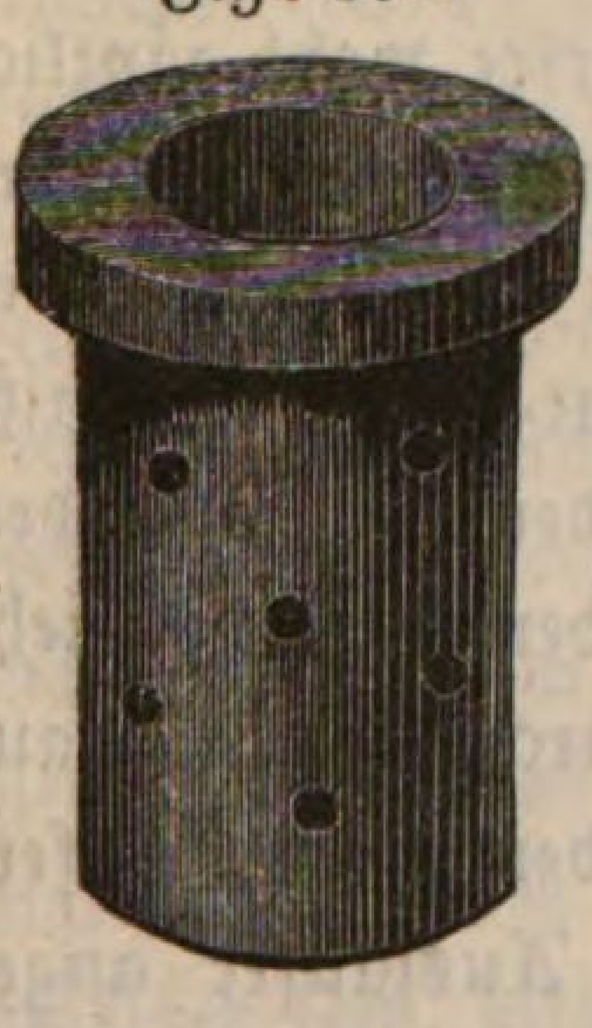


Fig. 405.

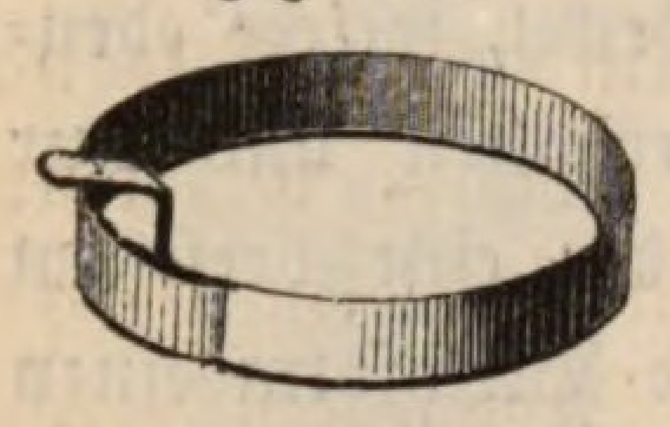


Nach dieser Bearbeitung taucht man die Kohlencylinder in Syrup und läßt sie von demselben gehörig durchdringen, worauf sie wieder getrocknet werden; nach dem Trocknen kommen sie zwischen Holzkohlenpulver

in feuerfeste Tiegel, auf welche ein Thondeckel aufgekittet wird, und so gibt man sie einem Töpfer, damit er sie beim Brennen mitten unter sein Geschirr stelle.

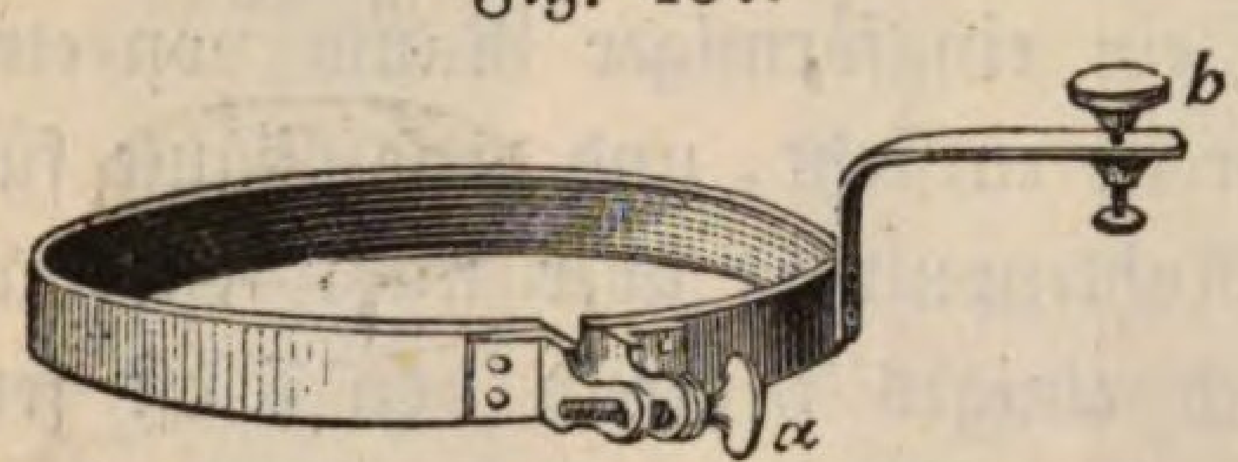
Die Kohlencylinder erhalten nun noch einige schief von oben nach unten laufende Löcher von etwa 5 Millimeter Durchmesser, die man mit jedem Bohrer machen kann. Außerdem taucht man den erhitzten breiteren Rand derselben in geschmolzenes Wachs, damit er später keine Salpetersäure aufnehme. An den breiteren Theil wird ein mit einem Ansatz versehener hart gelötheter oder vernieteter Kupferring, Fig. 406, aufgetrieben,

Fig. 406.



was durch leichte Hammerschläge, wenn der Ring scharf paßt und die Kohle in der Hand gehalten wird, ohne Beschädigung der letzteren angeht. Besser, aber umständlicher, ist es, wenn dieser Ring mit einer Zugschraube versehen ist, Fig. 407, wo man ihn dann nach

Fig. 407.



jedesmaligem Gebrauche abnehmen und reinigen kann. Doch ist das fortwährende Wiederabnehmen nicht gerade zu empfehlen. Besser thut man, bei mit Schrauben versehenen Ringen unter dieselben noch einen gleich breiten Streifen Drahtblech zu legen, was beim Anpressen die Berührungspunkte vermehrt, und dann den Ring und den oberen Theil der Kohlen, wie bei aufgetriebenen Ringen, dick mit Siegellacklösung zu firnissen.

Man trifft manchmal auch solche Elemente, wo die Kohle in der Thonzelle steht, und das Zink den äußeren Cylinder bildet. In diesem Falle sind dann die Kohlen durchweg gleich dicke, in die Thonzellen passende Cylinder von etwa 1 Centimeter Wandstärke, mit einerseits aufgetriebenem kupfernen Ringe. Diesen Ring zu vergolden, um ihn vor der Salpetersäure zu schützen, wie ebenfalls vorgeschlagen wurde, dürfte wohl gänzlich unnöthig sein; das Eintauchen in Wachs reicht gegen das Eindringen der Salpetersäure aus, ohne die Leitungsfähigkeit der Kohle zu vermindern, aber freilich nicht gegen das Verschütten derselben, gegen dieses dient dann der Firniß.

In jedem Falle ist es unzweckmäßig, den Zinkcylinder des folgenden Paares fest mit der Kohle des vorhergehenden zu verbinden. Es geschieht

Fig. 408.



dieses viel besser durch Klemmschrauben, welche je an dem vom Kupferringe kommenden Ausläufer angelöthet sein können, wie in Fig. 407. In diesem Falle kann die in Fig. 408 dargestellte Form der Klemmschrauben angewendet werden, wo der von der Kohle kommende Ansatz eine Verstärkung *a a* hat und die Schraube trägt, der

vom Zink kommende aber geschlitzt ist und unter den Schraubenkopf geschoben wird. Man hat dabei den Vortheil, die einzelnen Elemente nach Belieben combiniren zu können. Als Gläser können ebenfalls Zuckergläser verwendet werden, doch muß man für den Fall, daß das Zink in die Thonzelle kommt, darauf sehen, daß sie einen etwas stark eingezogenen Hals haben, damit sie außen um die Kohlen ziemlich Salpetersäure fassen, weil die Thonzellen möglichst genau — bis auf etwa 1 Millimeter Abstand — in die Kohlen passen sollen, wenn man das Maximum der Wirkung erhalten will. Meistens trifft man bei diesen Bunsen'schen Apparaten eigene Gläser von der Form wie Fig. 409 an. Fig. 410 zeigt für diesen Fall den ganzen Apparat im Durchschnitt.

Fig. 410.

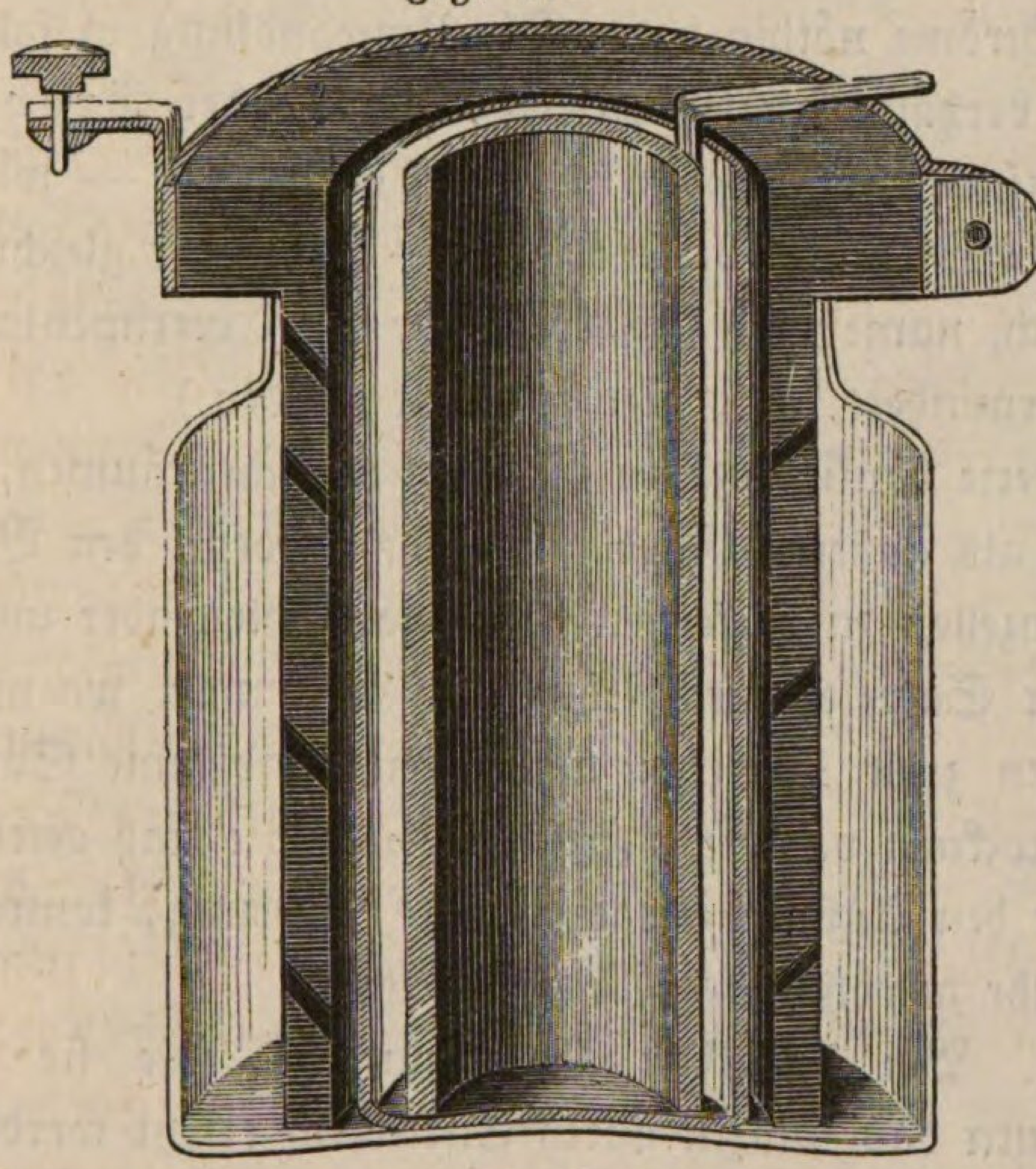
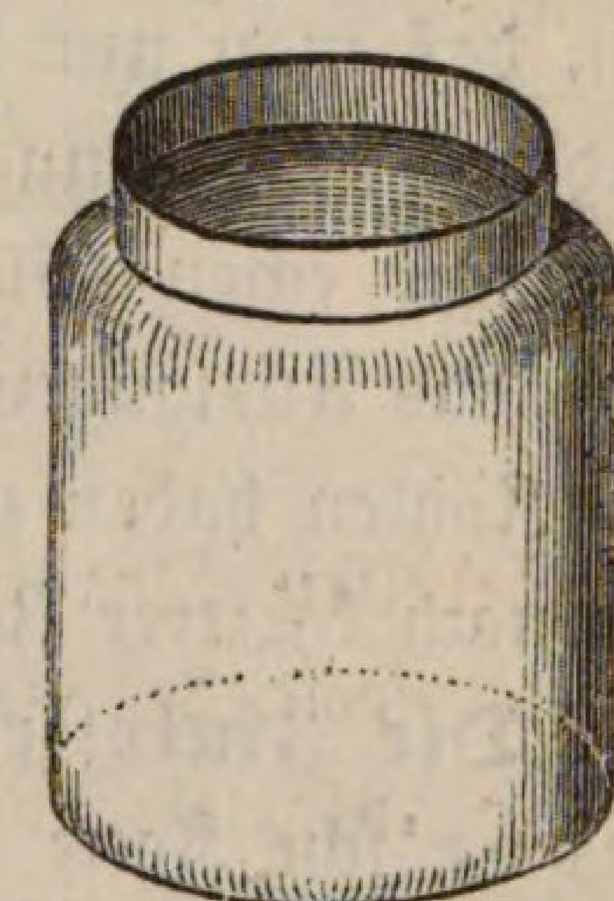


Fig. 409.



Nach dem, was oben über die Anfertigung der Kohlen gesagt ist, so erscheint dieselbe schon ziemlich umständlich; sie erfordert aber auch meistens noch einige vorgängige Versuche, da je nach der Qualität der Steinkohlen das Verhältniß dieser zu den Coaks ein anderes sein muß, als das angegebene. Sind nämlich die Steinkohlen zu backend, so zerspringen die Cylinder beim ersten Glühen; sind sie es zu wenig, so erhalten sie nicht die gehörige Festigkeit und bleiben zerreiblich. Im ersteren Falle muß man verhältnißmäßig mehr, im letzteren weniger Coaks anwenden. Außerdem sind selbst gleich feste Kohlen keineswegs in ihrer elektromotorischen Kraft gleich. Braucht man daher diese Kohlencylinder nicht in großer Zahl, so dürfte es zweckmäßiger sein, dieselben zu kaufen. Man erhält sie in vorzüglicher Qualität von Deleul in Paris und Stöhrer in Leipzig, und zwar von Ersterem das ganze Element mit Glas, sehr dickem Zink und Porcellanzelle, den Kupferring zum Abschrauben, wie Fig. 407, und mit Klemmschrauben versehen, zu 4 Franks. Von Letzterem noch kräftigere Elemente aber zu 3 Thaler.

Die Anschaffungskosten solcher Elemente sind bei gleicher Wirksamkeit bedeutend geringer, als bei Grove'schen Elementen. Allein die Kohlen verschlucken ein ziemliches Quantum Salpetersäure, welches beim nachherigen Auslaugen und Trocknen verloren geht; es beträgt wohl nahe $1/_3$ der aufgewendeten Säure. Hat man concentrirte Säure angewendet, so kann man die Kohlen zuerst in wenig Wasser stellen und so noch eine stark verdünnte Säure auslaugen, welche noch anderweitig verwendbar ist, oder auch gebraucht werden kann, wenn man nur schwächere Ströme nöthig hat. Die Umwandlung in salpetrichte Säure ist natürlich verhältnißmäßig dieselbe, wie bei der Grove'schen Kette. Von salpetrichtsauren Dämpfen hat man bei beiden — wenn die Grove'sche Kette mit einem Deckel versehen ist — ungefähr gleichviel zu leiden. (Daß Tabackrauch, namentlich Cigarren, für den Experimentator diesen letzteren Uebelstand vermindert, mag hier erwähnt werden.)

Braucht man die Batterie häufig und in kürzeren Zwischenräumen, so haben die Kohlen, wenn sie als äußeres Glied gebraucht werden, den Vortheil, daß man nur die Thonzellen zu entfernen hat, die Kohlen aber unbeschadet der Wirkung in der Salpetersäure stehen bleiben können, wo man dann nur einen Glasscherben zum Zudecken nöthig hat, und keine Säure durch das Auslaugen und Trocknen verliert. Frisch ausgelaugte und getrocknete Kohlen haben zwar für den Anfang etwas stärkere Wirkung, kommen aber nach kürzerer Zeit auf ihr gewöhnliches Maaß herunter.

248 **Die Zinkeisenkette.** Bei derselben Combination, wie sie die Grove'sche Kette hat, kann das Platin durch Eisenblech ersetzt werden, nur muß dann sehr concentrirte Salpetersäure von einem specif. Gewichte = 1,4 angewendet werden. Man kann auch das Zink hiebei durch verzinntes Eisenblech ersetzen, selbst in beide Flüssigkeiten Eisenblech bringen, und erhält einen kräftigen Strom. Trotz der Leichtigkeit, womit auf diese Weise galvanische Apparate gebaut werden können, kamen dieselben bis jetzt nicht so in Gebrauch, wie man nach den ersten Anpreisungen hätte erwarten sollen. Sie haben die Unbequemlichkeit, daß man stets darauf denken muß, ob auch die Salpetersäure noch stark genug sei, um das Eisen nicht anzugreifen; da dieselbe aber während des Gebrauchs der Kette stets schwächer wird, so kommt sie unversehens an dem Punkte an, wo sie das Eisen plötzlich gewaltig angreift und sich ein Qualm von salpetrichter Säure aus dem Apparate entwickelt.

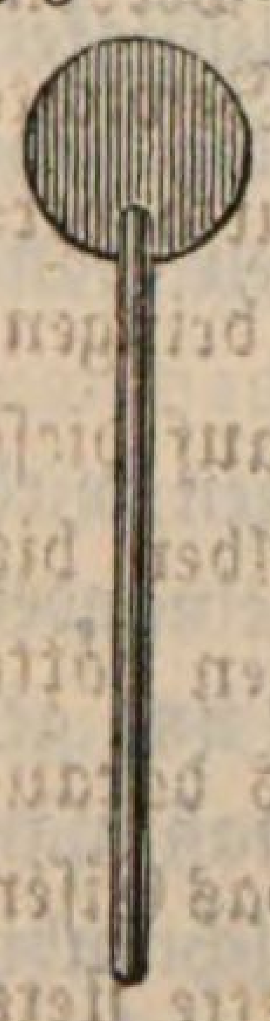
Außer den hier angeführten Ketten wurden und werden noch täglich in den Journalen neue Combinationen angepriesen; keine derselben konnte sich bis jetzt in den Laboratorien allgemeinen Eingang verschaffen, und dieselben können daher hier füglich übergangen werden.

249 **Spannungs-Versuche mit der Säule.** Wenn man hiezu ein empfindliches Goldblattelektrometer oder das Oersted'sche verwendet, so kann man

mit Hülfe des Condensators bei nur 8—12 Paaren das Gesetz, daß die Spannung wie die Zahl der Plattenpaare wächst, recht wohl annähernd nachweisen. Man baut die Säule dazu nur mit befeuchtetem Fließpapier auf und hält sie frei in der Hand; als oberste Platte nimmt man eine solche mit hervorstehendem Lappen und bringt diese mit dem aus demselben Metalle, wie die oberste Platte, bestehenden Theile des Condensators in Berührung. Man kann nun entweder die ganze Säule wirken lassen, oder mit den Fingern der Hand, auf welcher die Säule steht, eine der Platten berühren und dadurch nur die oberhalb dieser befindlichen Platten wirken lassen. Wenn man so die Zahl der wirkenden Platten um je zwei steigen läßt, so bemerkt man am Elektrometer recht gut die Zunahme der Abstoßung. Ist das Elektrometer empfindlich, so darf man nicht leicht über 8—12 Plattenpaare steigen, auch wenn man die Fließpapierscheiben nur mit Speichel befeuchtet. Wollte man Pappscheiben anwenden, so würde die Säule für dieses Verfahren zu hoch. In diesem Falle baut man sie in ihrem Gestelle auf und setzt die Platten durch isolirte Drähte mit dem Condensator in Verbindung. Für 40—50 Paare kann man schon ein empfindliches Strohhalmelektrometer anwenden. Z a m b o n i'sche Säulen wirken bei 1000 Plattenpaaren auf ein solches auch ohne Condensator. Will man eine isolirte Säule gebrauchen, so muß man natürlich doppelt so viele Paare nehmen, um an jedem Pole gleiche Wirkung wie vorher zu erhalten.

Physiologische Wirkungen des elektrischen Stroms. 1) Der 250

Fig. 411.



einfachste Versuch der Art besteht darin, daß der Strom eines einzelnen Paares durch irgend einen Zweig des fünften Nervenpaares, das mit den Sehnerven communicirt, geleitet wird. Am bequemsten ist hierzu ein gestieltes Plattenpaar aus Zink und Kupfer von höchstens einem Zolle Durchmesser (Fig. 411); das Kupfer kann der Reinlichkeit wegen stark galvanisch versilbert werden. Diese Platten werden zwischen Kinnladen und Wangen in den Mund genommen, so daß sie mit ihrer Fläche an den beiden Kinnladen beiderseits außerhalb anliegen, und bei geschlossenem Munde die Stiele der Platten mit einander in Berührung gebracht. Bei jeder Berührung sieht man einen schwachen Blitz, besonders wenn man die Augen geschlossen hält.

2) Dieselben Platten könen auch dazu dienen, den bekannten eigenthümlichen Geschmack auf der Zunge hervorzurufen, wenn man die eine derselben auf, die andere unter die Zunge bringt und die Stiele sodann in Berührung setzt.

3) Legt man auf ein Zinkblech ein kleineres Kupferblech oder eine Silbermünze und auf diese einen Blutegel, so sucht dieser fortzukriechen fährt aber jedesmal zurück, so wie er mit der Zinkplatte in Berührung kommt.

4) Ein einzelnes Plattenpaar bringt im Menschen noch keine Erschütte-

rung hervor, diese Wirkung hängt von der Zahl der Platten ab, doch wird sie bei 10—12 Paaren schon merklich und bei 50—60 schon sehr empfindlich, besonders wenn man die Hände mit angesäuertem Wasser benetzt, und metallene Handgriffe, wie Fig. 412, faßt, um mit den ein paar Zolle langen daran gelötheten dicken Drähten die Pole zu berühren. Diese Handgriffe werden aus starkem Messingbleche verfertigt, und es ist zweckmäßig, die Drähte durch dieselben durchgehen zu lassen, um sie an beiden Böden fest zu löthen, weil sie sonst bald los werden. Wenn man die Drähte hart an den einen Boden löthet, so ist diese Vorsicht freilich nicht nöthig. Daß man die Griffe auch beiderseits offen lassen und den Draht an die Wand anlöthen kann, versteht sich wohl von selbst, doch erspart es nicht viel und sieht weniger gut aus, allein man kann dann das Ganze eher selbst machen. Bei einer noch kräftigen Säule von 50—60 Paaren wird es nicht gelingen, dieselbe mittelst der angeführten Handgriffe geschlossen zu erhalten, indem die Erschütterung, welche beim Schließen eintritt, immer wieder das Oeffnen der Kette zur Folge hat. Wenn nach einiger Zeit die Schläge schwächer geworden sind, und man die Kette geschlossen halten kann, so erregt der Strom eine sausende Empfindung in den Fingern und den Handgelenken. Leitet man von den Polen kommende Drähte in zwei Schüsseln mit angesäuertem Wasser, so kann man die Hände hier eintauchen und dadurch die Kette schließen. In diesem Falle ist es zweckmäßig, an den von den Polen kommenden Drähten Bleche von etwa 4 Quadratzoll anzuschrauben und diese in die Flüssigkeit zu tauchen, damit die Berührungsfläche größer wird. Der Schlag geht auch durch einige Personen durch, wenn diese einander mit benetzten Händen anfassen, doch wird er hiedurch sehr geschwächt.

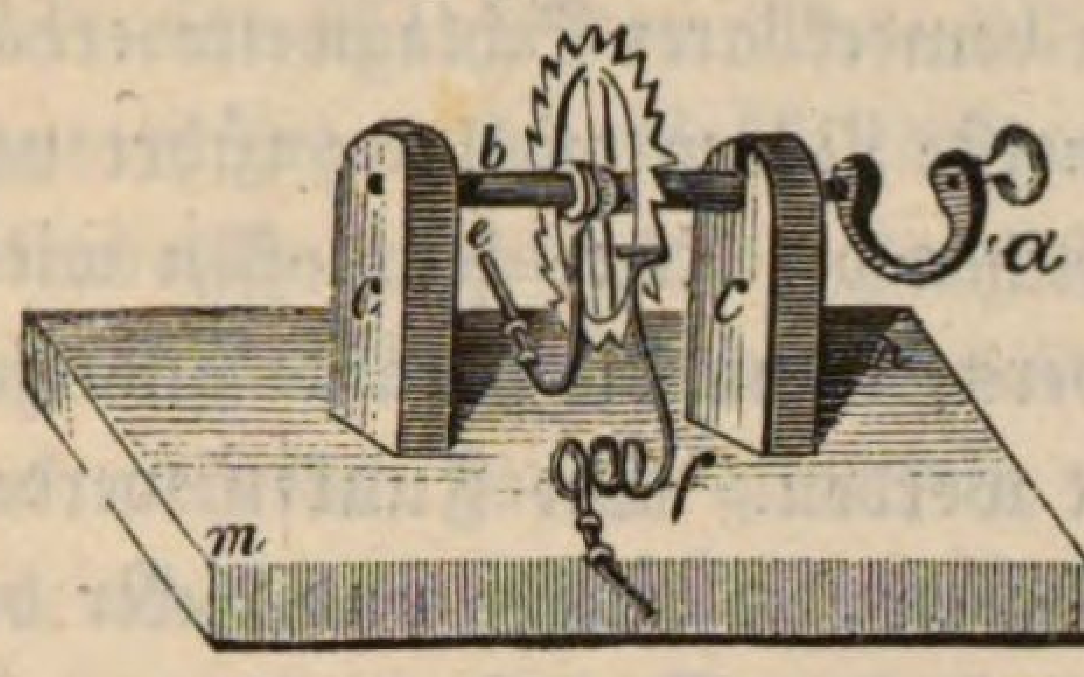
Fig. 412.



251 **Das Blitzrad.** Die Wirkung ganz schwacher Erschütterungen wird bis zur Unerträglichkeit gesteigert, wenn dieselben sehr rasch nach einander folgen. Es muß hiezu der Strom rasch nach einander geöffnet und geschlossen werden. Man kann dieses sehr einfach dadurch erreichen, daß man den von dem einen Pole kommenden Draht an eine Holzfeile anschraubt, und den vom andern Pole kommenden Draht über die Feile wegführt, wodurch der Strom sehr rasch nach einander unterbrochen und wieder geschlossen wird. Schaltet man nun den Körper, durch welchen die Erschütterung gehen soll, irgendwo in den Schließungsdraht ein, so erfolgt dieselbe ebenso rasch aufeinander.

Regelmäßiger werden die Unterbrechungen und die Schnelligkeit ihrer Aufeinanderfolge willkürlicher, wenn man einen Apparat wie Fig. 413 in den Strom einschaltet. Er besteht aus dem Steigrade einer Uhre, auf welches man concentrisch einen Messingring von $1/2$—1 Zoll Durchmesser aufgelö-

Fig. 413.



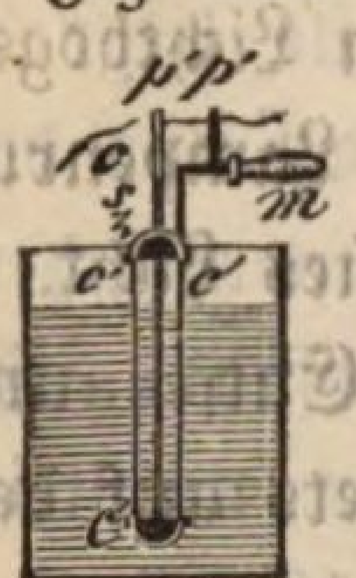
thet hat; die hölzerne Axe *b* füllt diesen Ring aus, ruht mit ihren eisernen Zapfen auf den hölzernen Stützchen *c c* und kann durch die Kurbel *a* gedreht werden. Ein Kupferdraht *e* ist durch ein paar in das Grundbrettchen *m n* des Apparates geschlagene Drahthaften auf diesem befestigt und mit einem Ringe um den an das Rad gelötheten Messingring gelegt; man richtet diesen Draht so, daß er etwas federnd abwärts zieht und dadurch stets mit dem Messingringe in Berührung bleibt. Ein zweiter Kupferdraht *f* ist auf gleiche Weise befestigt, dann in eine federnde Spirale von einigen Umgängen gewunden und zuletzt zweimal rechtwinklicht zusammengebogen, wie die Figur zeigt; mit diesem letztern Theile liegt er auf den Zähnen des Steigrades, und der durch die Drähte *e* und *f* und das Rad geleitete Strom wird bei der Drehung des Rades so oft unterbrochen, als die Feder des Drahtes *f* über einen Zahn des Rades abfällt. Ist das Steigrad für eine eiserne Axe geeignet, so braucht man natürlich keinen Messingring an dasselbe zu löthen, indem das Ende des Drahtes *e* dann um die Axe gelegt wird.

Um die Berührung besser herzustellen, kann man die Zähne des Rades amalgamiren; es geschieht dieses einfach so, daß man ein mit Salz- oder Salpetersäure befeuchtetes Hölzchen oder Papierstreifchen während einer Umdrehung daran hält und dann die Zähne durch Quecksilber laufen läßt, welches in einem Schälchen darunter gehalten wird. Soll der angelöthete Messingring nebst dem darauf liegenden Drahte amalgamirt werden, so bringt man nach dem Benetzen mit Säure mittelst einer Glasröhre oder eines amalgamirten Drahtes einen Tropfen Quecksilber dahin. Ueberall wird die Säure nachher mit Fließpapier wieder weggeputzt, wodurch sich auch das Quecksilber besser ausbreitet. Daß man die Drähte *e* und *f* an Klemmschrauben, wie Fig. 380, welche an dem Apparate bleiben, befestigen könne, wenn man mehr Zeit auf solche Bequemlichkeiten verwenden kann, versteht sich von selbst.

Das Blitzrad, wie es von Neef angegeben wurde, hat statt des Rades eine kreisförmige Messingscheibe, die an ihrem Rande statt der Zähne rechteckige Ausschnitte hat, welche wieder mit Bux und Ebenholz ausgelegt sind; letzteres wird mit der Scheibe abgedreht; der Draht *f* welcher in Fig. 413 in eine Spirale gewunden ist, braucht hier viel weniger zu federn, wenn er nur stets auf dem Umfange der Scheibe aufliegt. Ein solcher Apparat hat auch noch den Vorzug, daß er kein Geräusch macht, wie der in Fig. 413 abgebildete.

252 **Physikalische Wirkungen der Säule. Funken- und Wärmeentwicklung.** Eigentlich elektrische Funken von bemerkbarer Schlagweite erhält man nur von ganz großen Apparaten, die meiste Lichtentwicklung rührt von Verbrennung der Drahtenden her, mit welchen die Kette geschlossen wird, namentlich von Verbrennung des Quecksilbers, wenn die Drähte amalgamirt sind, oder in Quecksilbernäpfe getaucht werden. Die Funken werden bei der Trennung des Stromes um so lebhafter, je länger und dicker der Schließungsdraht ist. Ist nämlich ein Theil des Schließungsbogens zu dünn, um die vorhandene Elektricität zu leiten, so erhitzt er sich, und kann selbst glühend und geschmolzen oder verflüchtigt werden, je nach seiner Natur; es geschieht dieses um so eher, je dünner und kürzer das Stück ist und je größer die Plattenpaare sind; ein einzelnes Wollaston'sches

Fig. 414.



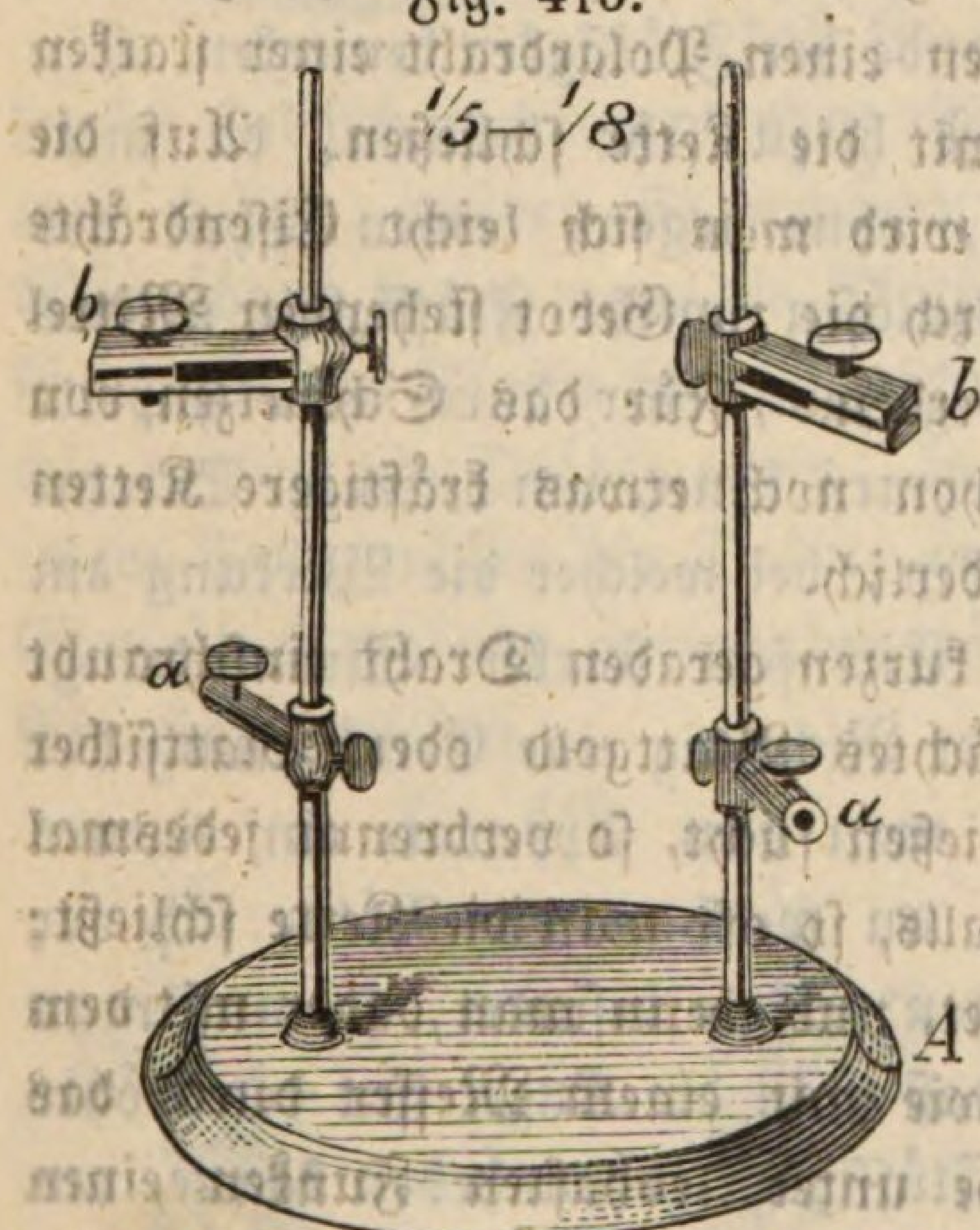
Paar von der oben angegebenen Größe, welches man, wie Fig. 414 zeigt, mit einer Handhabe *m* versieht, und wo man zwischen Kupfer und Zink einen haarfeinen Platindraht *pp* einspannt, reicht zu diesem Versuche aus; der Platindraht wird glühend, so oft man das Element in die gewöhnliche Flüssigkeit eintaucht, wenn der Platindraht sehr fein und nur etwa 1/4—1/2 Zoll lang ist. Ein Bunsen'sches Element leistet noch mehr. Will man längere und stärkere Drähte glühend machen, so darf man dieselben nur an den einen Polardraht einer starken Volta'schen Batterie binden und damit die Kette schließen. Auf die in §. 228 Nr. 5. angegebene Weise wird man sich leicht Eisendrähte verschaffen, die dünn genug sind, um durch die zu Gebot stehenden Mittel glühend gemacht oder geschmolzen zu werden. Für das Schmelzen von Spiralfedern aus Taschenuhren sind schon noch etwas kräftigere Ketten als eine einfache Wollaston'sche erforderlich.

Wenn man an einer Säule einen kurzen geraden Draht einschraubt und darauf ein Stück ächtes und unächtes Blattgold oder Blattsilber hängt, und an diesem die Kette zu schließen sucht, so verbrennt jedesmal das berührte Theilchen des dünnen Metalls, so oft man die Kette schließt; sie wird aber auch dadurch wieder geöffnet, und wenn man daher mit dem vom andern Pole kommenden Draht wie mit einem Messer durch das Goldblatt fährt, so brennt sich derselbe unter lebhaften Funken einen Weg durch das Metall, so daß man auf diese Art beliebige Stücke von ihm gleichsam herunterschneiden kann. Ueberhaupt geben diese Verbrennungen sehr lebhafte Lichtentwicklung, so z. B., wenn man den einen Pol mit einer Feile verbindet und mit einem dünnen an dem vom andern Pole kommenden Leiter befestigten Drahte über die Feile fährt, wobei ein lebhaftes Funkensprühen sich zeigt; ebenso wenn man mit amalgamirten Drähten die Kette schließt oder öffnet. Um das blendende Licht zu er-

halten, welches zwischen Kohlenspitzen im Schließungsbogen entsteht, muß man eine Säule von 12—24 guten Bunsen'schen Elementen von der oben angegebenen Größe anwenden. Man nimmt dazu gut gebrannte cylindrisch geschnittene Holzkohlen von etwa ½—1 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge, die man einerseits fein zuspitzt; die Polardrähte werden mehrfach darum gewickelt, um sie an einer ziemlich großen Fläche mit den Kohlen in Berührung zu bringen, und dann die Kohlen mit ihren Spitzen gegen einander gehalten. Bei weniger Elementen, 6—12, geht der Versuch nur, wenn man Kohlenstücke von derselben Masse anwendet, aus welcher die Bunsen'schen Elemente verfertigt werden; Holzkohlen leiten die Elektricität nicht gut genug. Kann man über 40—50 solcher Elemente oder Grove'scher von entsprechender Größe verfügen, so kann man die Kohlenspitzen, wenn sie glühend geworden sind, bis auf ¼ Zoll von einander entfernen, und erhält dann zwischen ihnen einen Lichtbogen von blendender Helligkeit. Gespitzte Drähte, die man mit Lampenruß überzieht, zeigen beim Schließen der Kette ebenfalls ein lebhaftes Licht.

Da bei diesen Versuchen die Kohlen in gleicher Entfernung bleiben müssen und man auch so die Einwirkung des Magnets auf den Lichtbogen zu zeigen hat, so ist ein Stativ, wie Fig. 415 sehr bequem.

Fig. 415.



Auf dem ovalen Brette *A* befinden sich zwei starke Stäbe eingeschraubt und an diesen vier verstellbare Klemmen. Durch zwei derselben *a a* wird der Strom zugeleitet und in die zwei andern *b b* schraubt man die Drähte mit den Kohlen. Man kann hier auch die Drähte einschrauben, welche geglüht oder geschmolzen werden sollen; solche Klemmen sind namentlich für dünne Drähte bequem, da letztere gerne den Druckschrauben ausweichen. Man kann die Kohlen auch sogleich in die erforderliche Stellung bringen und dann durch sie eine Leydner Flasche entladen, worauf sofort der Strom eintritt.

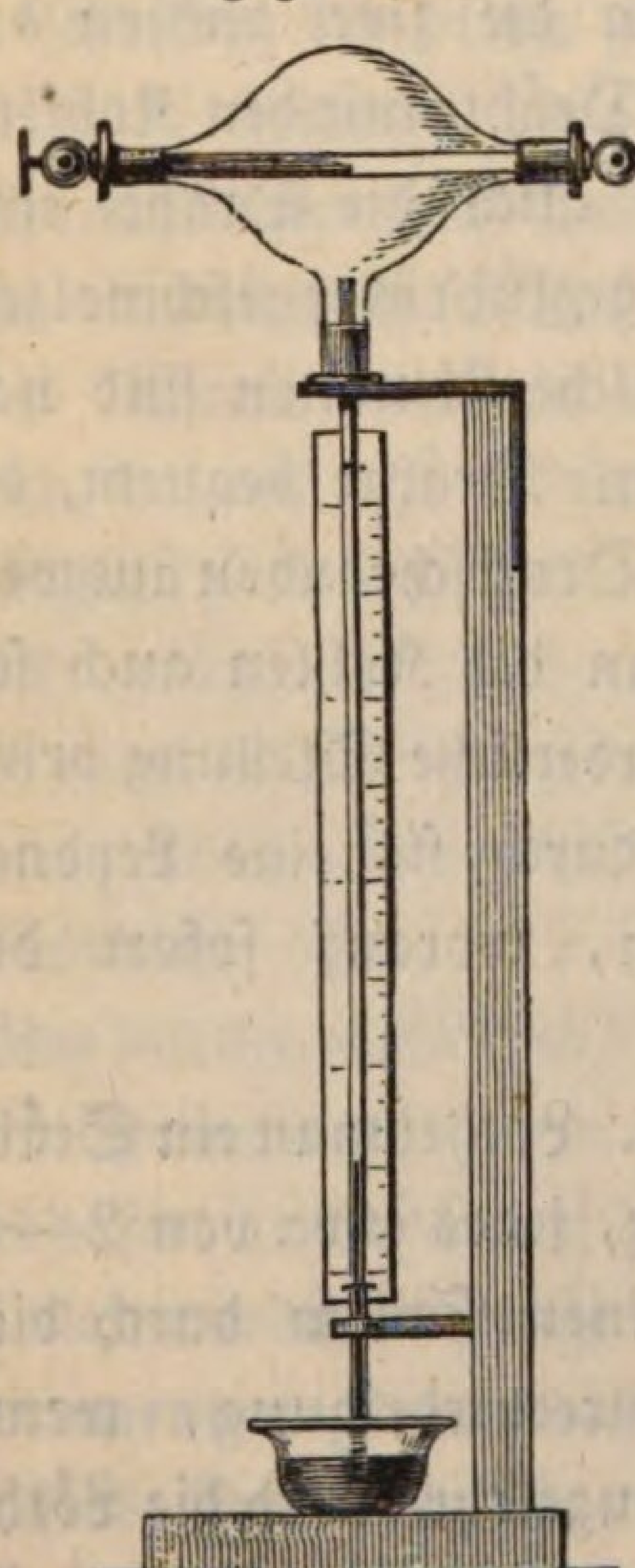
Kälteerregung durch den elektrischen Strom. Löthet man ein Stäbchen aus Wismuth und ein Stäbchen aus Spießglanz, jedes etwa von 2—4 Quadratlinien Querschnitt aneinander, und leitet einen Strom durch dieselben, so entsteht an der Löthstelle eine Temperaturerniedrigung, wenn der Strom vom Wismuth zum Spießglanz geht, umgekehrt wird die Löthstelle erwärmt. Man muß die beiden Stäbchen, nachdem an jedes ein 253

kurzer Kupferdraht behufs der weitern Verbindnng angelöthet ist, luftdicht durch eine etwa 1 — 1½ Zoll weite Kugel von Glas leiten, an welche, wie beim Luftthermometer, eine Röhre angeschmolzen ist, Fig. 416. Bei dem Anlöthen des Kupfers an Wismuth muß jenes vorher mit Loth verzinnt werden. Das Einkitten geschieht am besten durch wiederholtes Auftragen von dicker Siegellacklösung, da man die Stäbchen kaum so weit erwärmen kann, als zum Kitten mit Siegellack erforderlich ist. Mit Gyps zu kitten taugt nichts, da Gyps zu porös ist. Man stellt dann die Röhre *a* in ein Glas mit gefärbtem Wasser, erwärmt die Kugel *b* etwas mit der Hand, um Luftblasen auszutreiben und die Flüssigkeit in die Röhre aufsteigen zu lassen. Die Stelle, bis zu welcher die Flüssigkeit steigt, wird mit einem Faden bezeichnet, und der Apparat an irgend einem Gestelle senkrecht befestigt. Mittelst Klemmschrauben leitet man nun einen Strom durch die Kugel *b*, welcher zuerst durch einen Commutator geführt wurde, und man wird beim Umkehren rasche Aenderung im Stande der Flüssigkeit bemerken. Ein einzelnes Wollaston'sches Element ist hiezu sehr bequem, da man nach Belieben, ohne irgend einen Theil des Apparates auszulösen, mehr Flüssigkeit in das Glas desselben gießen, oder durch eine Pipette davon herausnehmen kann, um diejenige Stromstärke zu bewirken, bei welcher die Wirkung am stärksten ist. Ein sehr starker Strom bringt nämlich in jeder Richtung eine Erwärmung des Leiters. Will man dem Apparate ein eigenes Gestelle geben, an welchem die Röhre sich vor einer willkürlichen Skale befindet, so muß man darauf sehen, daß man die Kugel mit der Röhre leicht aus der Flüssigkeit herausheben könne, um sie sowohl als das Glas zu entleeren. Fig. 417 zeigt einen solchen Apparat mit Gestelle, wo auch die Enden der Stäbe angelöthete Klemmschrauben haben.

Fig. 416.



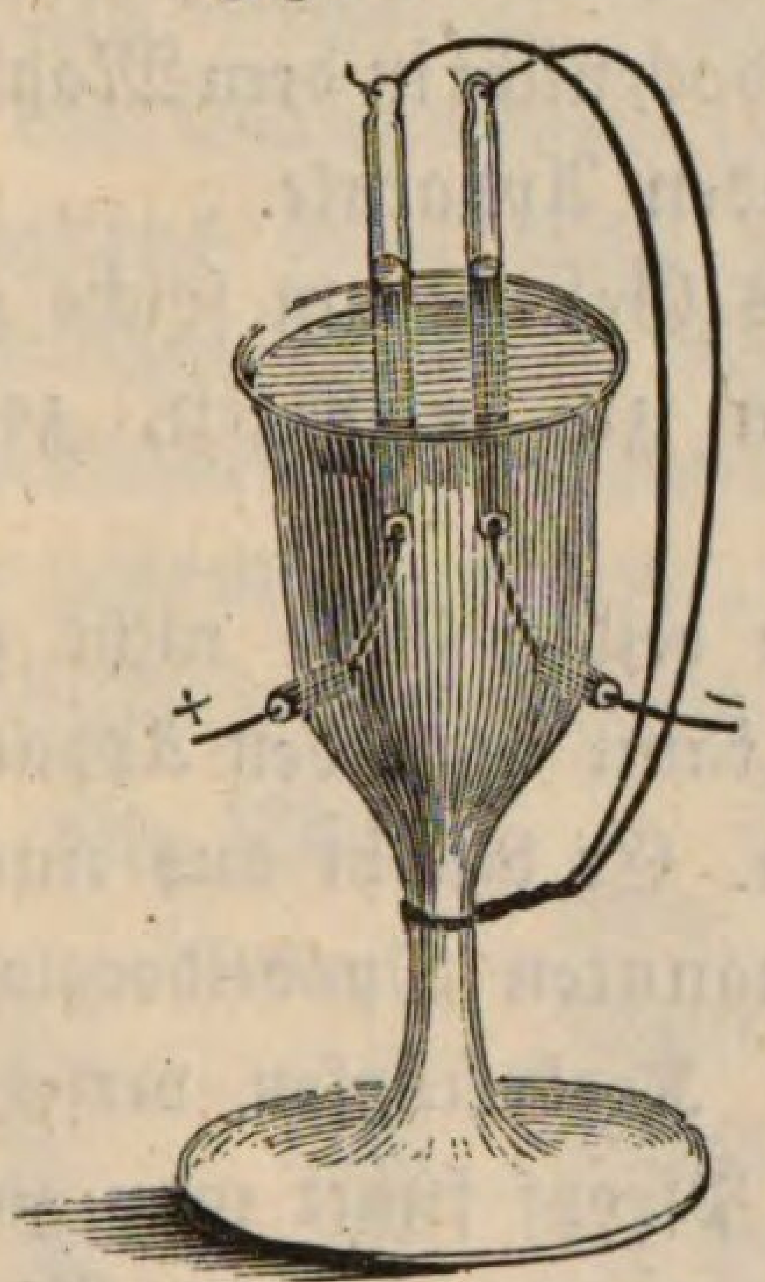
Fig. 417.



254 **Chemische Wirkungen der Säule. Wasserzersetzung.** Ein sehr einfacher Apparat zur Wasserzersetzung ist in Fig. 418 abgebildet. In ein

gewöhnliches Kelchglas bohrt man mit einem Stahlstifte und Terpenthinöl zwei gegenüberstehende Löcher von etwa einer halben Linie Durchmesser, führt durch kleine Korkstöpselchen Platindrähte und kittet die Stöpsel mit Siegellack in die Oeffnungen; doch ist letzteres, wenn der Kork gut ist, nicht durchaus nöthig. Um den Fuß des Glases bindet man einen Draht, dessen Enden nach oben zwei Hacken bilden, an welche man einerseits zugeschmolzene Glasröhrchen von etwa 2 Linien innerer Weite so aufhängt, daß in jedes das aufwärts gerichtete Ende eines Drahtes etwa 2 Linien weit hineinragt; bis zum Röhrchen werden die Drähte mit Siegellack überzogen. Da nur die freien Enden von Platin zu sein brauchen, so kann man kurze Stückchen davon an Kupferdrähte löthen. Letzteres ist auch darum zweckmäßig, weil man dicke Drähte besser durch Klemmschrauben an die Polardrähte befestigen kann.

Fig. 418.



Will man sich nicht damit abgeben, Löcher in das Glas zu bohren, so kann man die Drähte durch kleine Stückchen Holz gehen lassen, welche man mit einem Einschnitte auf den Rand des Glases aufkittet, und dann die Drähte so krümmt, daß sie an der innern Wand des Glases herablaufen und sich wieder nach oben richten; wenn die Drähte ihre gehörige Richtung haben, werden sie erwärmt und mit Siegellack bestrichen. Auch in Glasröhren kann man die Platindrähte stecken, sie am einzutauchenden Ende um das Platin herum zuschmelzen, nachher entsprechend biegen und, wie vorher die Drähte allein, in einem Stückchen Holze befestigen. In jedem Falle müssen die Drähte einander so nahe gebracht werden, daß die Glasröhrchen dicht aneinander hängen. Letztere kann man mit gläsernen Ringchen versehen.

Fig. 419.

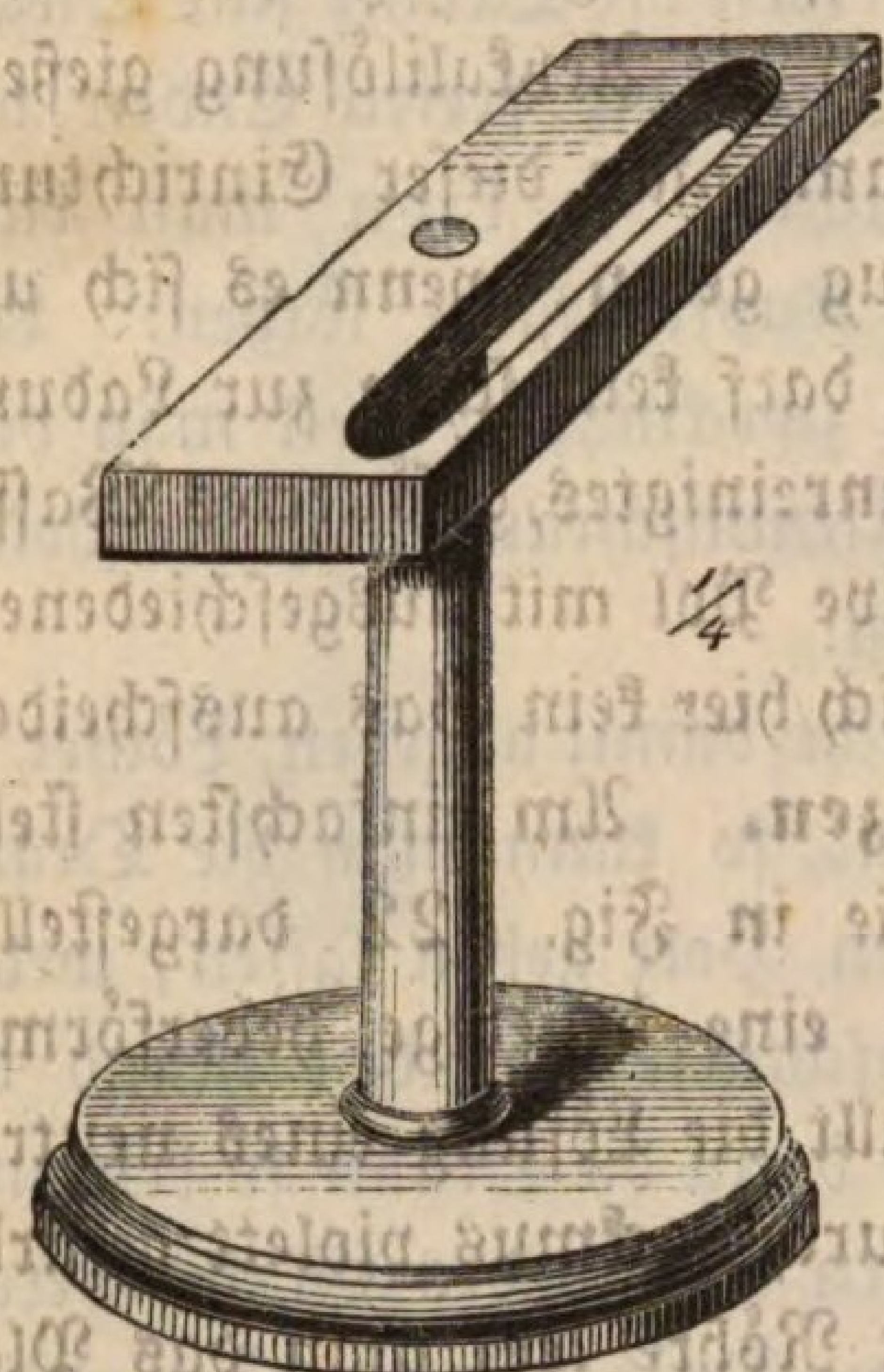


In das Glas kommt schwach angesäuertes Wasser, und mit diesem werden auch die Glasröhrchen gefüllt. Letztere nimmt man von gleicher Weite, um den Unterschied der in jedem entwickelten Gasmenge sehen zu können.

Will man die Gase in größerer Quantität erhalten, so kann man dieses sehr einfach durch den in Fig. 419 abgebildeten Apparat erreichen. Eine Glasröhre von 4—6 Linien Weite wird wie *m n p* gebogen, sodann durch Korke, welche darein passen, die Glasröhrchen *a b* und die Platindrähte *c d* luft-

dicht durchgeführt (verkittet); an den Drähten *c d* befinden sich die schmalen Platinplatten *e f* (welche man auch zu andern Versuchen braucht); letztere langen bis beinahe in die Biegung der Glasröhre hinunter, und an die Glasröhrchen *a b* werden mittelst Kautschuk andere passend gebogene Glasröhrchen befestigt, die unter zwei kleine — allenfalls graduirte — mit Wasser gefüllte und in Wasser umgestürzte, einerseits zugeschmolzene Glasröhrchen, kurz in einen kleinen pneumatischen Apparat führen. Durch die Anwendung solcher Platinplatten erhält man eine große Oberfläche und also einen verstärkten Strom, doch nicht in dem Maaße, wie bei dem folgenden Apparate.

Fig. 420.



Ein bequemes Gestell, um solche gebogene Glasröhren zu befestigen, zeigt Fig. 420.

Will man die beiden Gase nicht getrennt erhalten, so kann man den Apparat Fig. 421 anwenden. Er besteht aus einem etwas großen sogenannten Opodeldocglase, welches mit einem Korkpfropfen versehen wird. Durch den Pfropf führt man zwei mit Siegellack überzogene oder in Glasröhrchen eingekittete Kupferdrähte, an welche Platinbleche angelöthet sind und eine *S*förmig gekrümmte Röhre von Glas oder Metall, welche nur gerade durch den Pfropf reicht. — Man kann auch ein gerades Metallröhrchen einsetzen, was beim Einstecken des Pfropfes weniger hindert und ein gekrümmtes Glasrohr durch Kautschuk daran setzen. Der Pfropf wird unterhalb, so wie die Kupferdrähte, bis an die Platinbleche mit Siegellak überzogen, und die Bleche einander recht nahe gerückt. Das Glas wird mit schwach angesäuertem Wasser gefüllt und der Pfropf sodann hineingesetzt. Die Poldrähte werden an die hervorstehenden Enden der Kupferdrähte geschraubt. Man muß zu diesen Versuchen immer mehrere, 6—12, zur Säule verbundene Elemente nehmen, da das Wasser vielen Wiederstand leistet, wenn man reichlich Gas erhalten will, obwohl die Zersetzung schon mit 2—3 Elementen beginnt. Man kann nun das entwickelte Gas in einem sogenannten pneumatischen Apparate auffangen, oder dasselbe in Seifenwasser leiten und die einzelnen Blasen, wenn sie sich vom Röhrchen losgemacht haben, sogleich mit einem Spähnchen an-

Fig. 421.



zünden. Ihr Knall ist immer puffender, als der von sonst zusammengemengtem Knallgase in gleicher Quantität, da die Gase hier rein sind und genau im erforderlichen Verhältnisse stehen.

Statt der Platinbleche kann man auch Eisenbleche verwenden, wobei aber als Flüssigkeit eine Lösung von 1 Gewichtstheil Aetzkali auf 9 Theile Wasser genommen werden muß. Solche Eisenbleche kann man wie die Platten einer Hare'schen Spirale aufwickeln, wodurch ihre Oberfläche sehr vergrößert wird, was auch die zersetzte Wassermenge vergrößert. Bei kräftigen Elementen kann man Terpenthinöl auf die Aetzkalilösung gießen, um das Blasenwerfen zu verhüten. Doch kann man dieser Einrichtung wenigstens dann nicht vor Platin den Vorzug geben, wenn es sich um Messungen handelt. Nimmt man Platin, so darf kein schon zur Ladung eines Elements gebrauchtes, also mit Zinksalz verunreinigtes, gesäuertes Wasser dazu genommen werden, weil sonst der negative Pol mit ausgeschiedenem metallischen Zink schwarz überzogen wird und sich hier kein Gas ausscheidet.

Fig. 422.



Zersetzung von Salzen. Am einfachsten stellt 254
man den Versuch auf die in Fig. 422 dargestellte Weise an. Man nimmt eine beliebige heberförmig gebogene Glasröhre und füllt die Lösung eines neutralen Salzes hinein, welche durch Lackmus violett gefärbt ist. In jeden Schenkel der Röhre legt man das Platinende eines Polardrahtes von einer Säule aus 3—6 Elementen; schmale Platinbleche sind hiezu besonders zweckmäßig. Die Salzlösung färbt sich an dem positiven Pole roth, und am negativen blau, kehrt man dann die Pole um, so wechselt auch die Färbung, nachdem sie zuerst in das frühere Violett zurückgekehrt war.

Galvanoplastik. Zu kleinern galvanischen Versuchen bedient man 255
sich am einfachsten einer modificirten Becquerell'schen Kette, wie sie

Fig. 423.

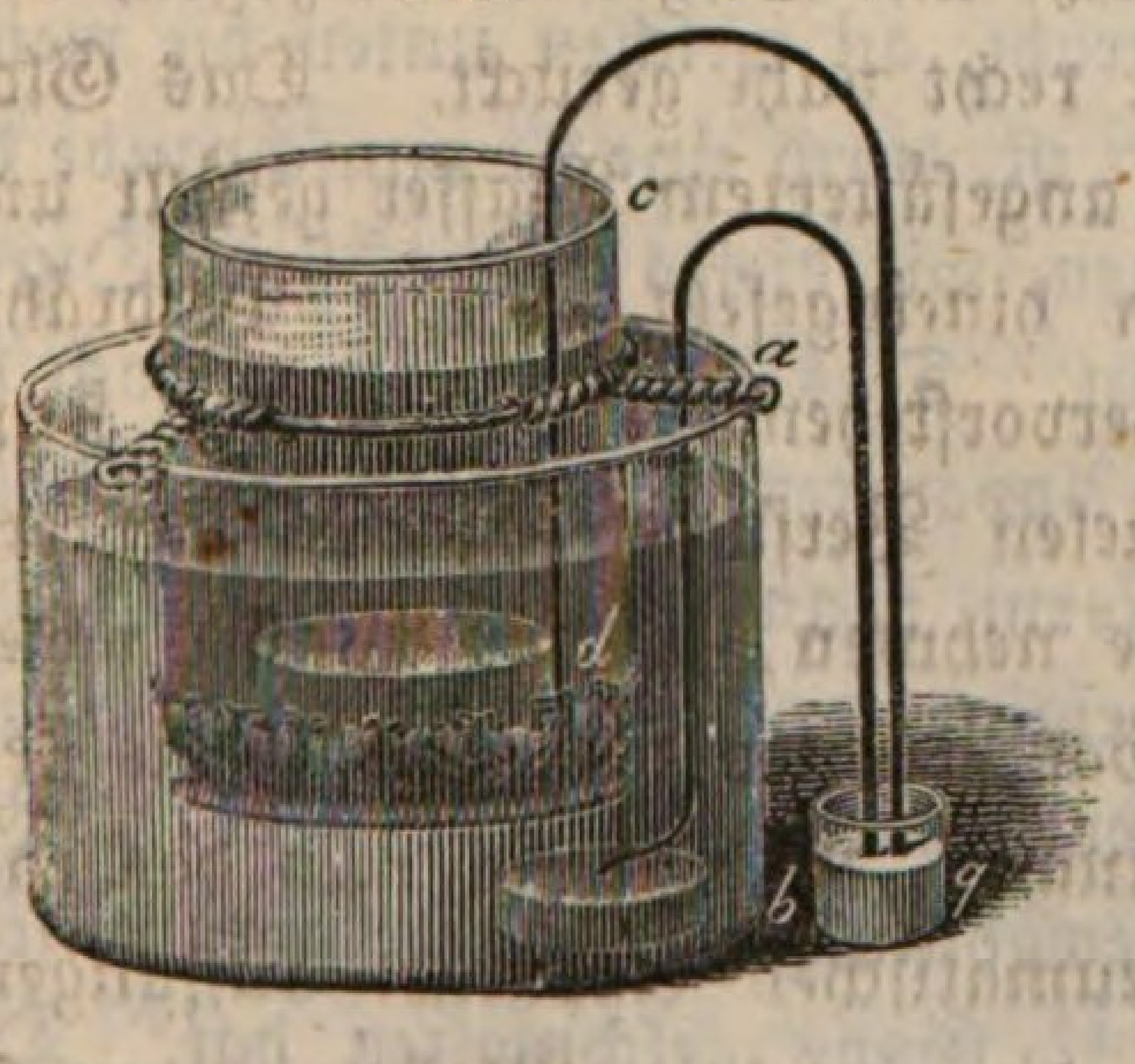


Fig. 423 darstellt. *c* ist ein Zuckerglas von beliebiger Größe, dessen Boden man abgesprengt hat*); über seine ursprüngliche Oeffnung bindet man eine Schweins- oder Rinderblase und richtet ein Stück Zink so, daß es auf dem verengten Halse des Glases gerade über der Blase aufliegt, ohne diese zu berühren. Um das Glas windet man außerhalb einen starken Draht mit drei oder vier hervorstehenden Enden, mit denen dasselbe auf

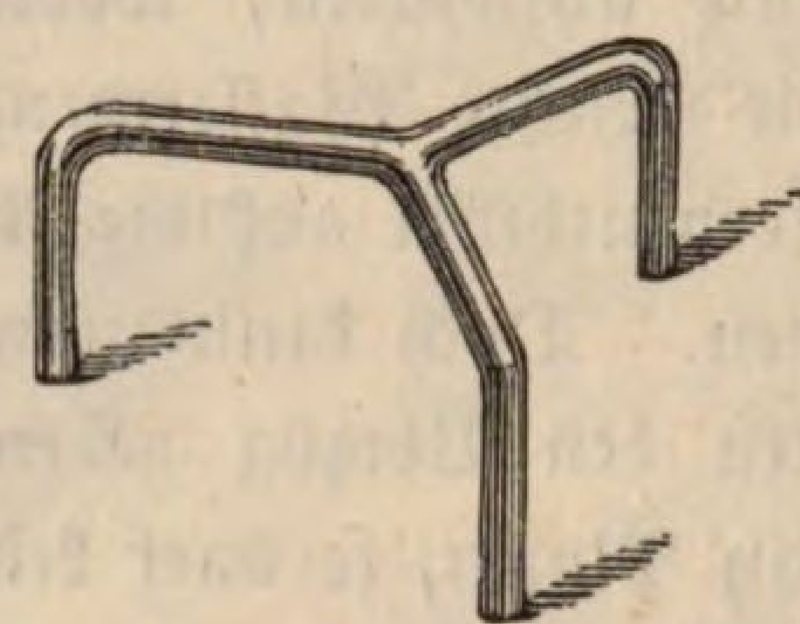
*) Worüber der folgende Paragraph nähere Anleitung geben soll.

dem Rande des Gefäßes *a* so aufsitzt, daß unter der Blase noch ein bis zwei Zoll Raum frei bleibt; einen solchen Draht kann man ganz einfach, wie in Fig. 424, aus zwei Stücken zusammen binden. Statt des Drahtes kann man auch einen Dreifuß aus Glas, wie Fig. 425 in das Gefäß *a* stellen und *c* darauf setzen. Letzteres hat den Vortheil, daß sich die Blase nicht gegen die Form senken kann, wenn auch im Gefäße *c* die Flüssigkeit höher stehen sollte, als in *a*, was auch beim Auseinanderheben des Apparats eintritt.

Fig. 424.

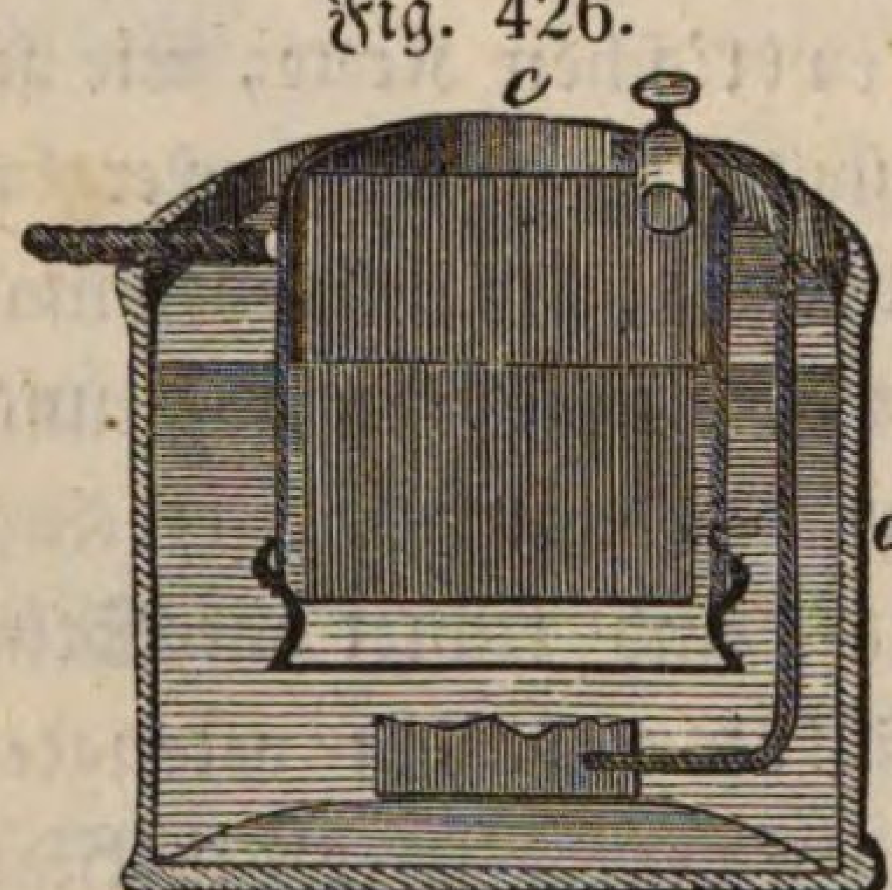


Fig. 425.



An das Zink wird ein starker Kupferdraht oder ein Streifen von Kupferblech gelöthet, welcher in das Quecksilbernäpfchen *q* taucht, und von diesem geht ein zweiter starker Kupferdraht zu der auf dem Boden befindlichen Form, welche zugleich das andere Element der Kette bildet. Die Drähte werden, so weit sie in die Flüssigkeiten tauchen, mit Siegellack überzogen. Die Einschaltung des Quecksilbernäpfchens hat den Vortheil, daß dadurch die Theile des Apparates leicht trennbar werden, was des öftern Nachsehens wegen bequem ist. Den zur Form führenden Draht läßt man ganz einfach auf derselben aufsitzen, wenn sie aus hartem Material besteht, oder steckt ihn seitwärts in dieselbe, wenn sie weich ist. Da sich aber das Kupfer hauptsächlich da absetzt, wo der Draht ansteht, so muß man bei Stücken, deren Durchmesser größer ist — etwa 1 Zoll übersteigt —, die Berührungsstelle des Drahtes wechseln, oder auch zwei solche Drähte anwenden. Man kann die Zinkplatte auch vertikal in das innere Glas stellen, sie auf dem eingezogenen Halse desselben ruhen lassen und den gebogenen Kupferdraht, an welchen unten die weiche Form gesteckt ist, durch eine Klemmschraube daran bestestigen, wie dieses Fig. 426 im Durchschnitte zeigt. Das Gefäß *a* ist je nach der Größe des Apparates von Glas oder Thon.

Fig. 426.



Die Form kann man so erhalten, daß man das Original erwärmt und einen Abguß von leichtflüssigem Metall darauf macht, wozu man, nach Böttcher, 8 Wismuth, 8 Blei und 3 Zinn nimmt. Gewöhnlich aber macht man dieselbe von Wachs, unter welches man etwa 1/4 Gyps geschmolzen hat. Das Original muß gut gereinigt werden, wenn es von Metall ist mit Lauge oder Weingeist, worauf man es mit einem Rande von Papier umgiebt,

der etwa ½ Zoll hoch dasselbe überragt, und dessen Enden mit Mundleim über einander befestigt werden. Unmittelbar vor dem Eingießen des Wachses, das nicht heißer sein darf als zum Schmelzen nöthig ist, kann man die Form ganz schwach behauchen, was das nachherige Lösen derselben vom Abgusse sehr fördert. Ein sichtbares Anlaufen des abzuformenden Gegenstandes darf durch dieses Anhauchen nicht bewirkt werden.

Um eine solche Form von Wachs leitend zu machen, überpinselt man dieselbe mit feiner sogenannter Bronce, am besten mit Silberbronce mittelst eines feinen Haarpinsels, und führt auch einen Strich davon auf der Seite der Form herunter, wo der Leitungsdraht eingesteckt werden soll. Um die Form, und über den leitenden Strich auf der Seite weg, legt man nun, nachdem der Draht eingesteckt ist, einen Rand von Klebwachs, damit das Kupfer nicht über die Form hinauswachse, was das Loslösen später sehr erschwert, und leicht ein Verderben der Form, die ohne dieses wiederholt gebraucht werden kann, herbeiführt.

Ist der Apparat zusammengesetzt, so füllt man das Gefäß *a* mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol, die man, wie bei der Daniell'schen Kette, concentrirt erhält, und das Gefäß *c* mit stark verdünnter Schwefelsäure ($^1/_{20}$—$^1/_{30}$). In 12 bis 24 Stunden ist der Kupferüberzug stark genug geworden, um abgelöst zu werden. Man entfernt zuerst das Klebwachs, und hebt dann mit der Schärfe eines Messers den Abdruck gerade auf, während man die Form mit der andern Hand hält.

Will man den Strom irgend einer andern Kette für galvanoplastische Zwecke verwenden, was räthlich ist, wenn es sich um größere Abdrücke handelt, als etwa Denkmünzen u. dergl. sind, so verbindet man die Form mit dem negativen Pole, den positiven Pol aber verbindet man mit einer Kupferplatte, welche so groß ist als die Form und überall etwa um einen halben Zoll von derselben absteht. Das Gefäß, worin die Form sich befindet, wird auch hier mit concentrirter Kupfervitriollösung gefüllt, sie erhält sich aber durch Auflösen der Kupferplatte von selbst concentrirt. (Der positive Strom geht in die Flüssigkeit eines Elements vom Zink zum Kupfer [oder dessen Vertreter], außerhalb der Flüssigkeit aber vom Kupfer zum Zink; bei Becherapparaten jeder Art enthalten die beiden letzten Becher je eine ungepaarte Platte, der eine Zink, der andere Kupfer, und es ist daher das Kupferende der positive Pol, oder er ist auf der Seite, auf welcher die geparten Platten das Zink haben.)

Das Glassprengen. Es kommt beim Experimentiren sehr oft vor, 256
daß man Glasröhren, Glasstangen, Vorlagen, Zuckergläser und Flaschen von zwei bis vier Zoll Durchmesser abnehmen soll. Bei Glasröhren, die nicht über 3 — 4 Linien dick sind, geht dieses leicht dadurch, daß man an der Bruchstelle einen Feilstrich macht und dann nur geradezu bricht, indem

man die Glasröhre so zu biegen sucht, daß der Feilstrich die convexe Seite einnimmt. Bei dickern Glasröhren aber feilt man ringsum oder verfährt auf folgende Weise. Man erhitzt die Bruchstelle ringsum dadurch, daß man dieselbe auf einen glühenden Eisen schnell herumdreht und dann einen Tropfen Wasser auf die erhitzte Stelle bringt. Am besten eignet sich hiezu ein eiserner Ring, der von einer zweiten Person gehalten wird, welche auch parat ist, mit einer Glasröhre schnell den Tropfen Wasser anzuwenden. Erhält das Glas hiebei nur einen Sprung, so kann man ein glühendes Eisen an dem Ende des Sprunges ansetzen und vor demselben herfahrend ihn in beinahe beliebiger Richtung weiterführen.

Für cylindrische Gegenstände dürfte jedoch folgende Methode des Erhitzens zweckmäßiger sein. Man bindet beiderseits um die Stelle, wo das Glas abgesprengt werden soll, einen etwa $1/2$—1 Zoll breiten und auf die Dicke einer Linie zusammengelegten Streifen von Papier mittelst Bindfaden fest, so daß zwischen diesen beiden Papierwülsten das Glas je nach seiner Dicke und Größe nur eine halbe bis höchstens eine ganze Linie frei bleibt, und also eine Rinne zwischen den beiden Papierwülsten gebildet wird.

Man nimmt nun einen guten Bindfaden, bei stärkern und größern Gläsern höchstens eine liniendicke aber festgedrehte gute Schnur, die so lang ist, daß, wenn dieselbe in der Rinne um das Glas und an jedem Ende um die Hand geschlungen ist, doch noch etwa 1—3 Fuß übrig bleiben. Halten nun ihrer Zwei, jeder mit einer Hand, das Glas auf den Rand eines Tisches und fassen mit der andern die einmal um das Glas geschlungene Schnur und ziehen diese straff angespannt abwechselnd um das Glas hin und her, so erhitzt sich die geriebene Stelle bald so stark, daß die Schnur abbrennt, und nun gießt man bereit gehaltenes Wasser darüber. Das Glas springt in der Regel sehr eben ab, und desto ebener, je knapper die Rinne zwischen dem Papiere zur Schnur paßte.

Wenn man von einem Rande ausgehen kann, um das Glas abzunehmen, namentlich aber wenn das Glas schon einen Sprung hat, so kann man sich zum Erhitzen viel vortheilhafter der Sprengkohle bedienen, als des glühenden Eisens. Sprengkohlen erhält man auf folgende Weise: 1 Quentchen Tragantpulver wird in so viel kochendem Wasser gelöst, daß der entstandene Schleim den Raum von 8 Loth Wasser einnimmt, sodann löst man $1/2$ Quentchen Benzoepulver in nur so viel starkem Weingeist auf als zur Lösung erforderlich; beide Lösungen werden zusammen gemischt und nun in einer Reibschabe so viel fein gepulverte und durchgesiebte buchene Holzkohle darunter geknetet, daß man daraus einen feinen plastischen Teig erhält; die Masse muß vor dem Ausrollen noch etwas feuchter sein, als Pillenmasse zu sein pflegt. Aus diesem Teige rollt man nun fast ohne allen Druck mit einem Brettchen $1\frac{1}{2}$—2 Linien dicke und 3—

4 Zoll lange Stängelchen aus, welche langsam getrocknet werden. Zündet man ein solches Stängelchen an, so brennt es sich spitzig und glimmt wie die Rauchkerzchen fort. Beim Gebrauche hält man die glühende Spitze ohne Druck an das Ende des schon vorhandenen Spaltes, indem man das Stängelchen in der Richtung gegen das Glas neigt, in welcher der Sprung fortgeführt werden soll; man rückt nun mit der Sprengkohle, so wie der Spalt dieser folgt, in einer schwach gebogenen Linie allmälig in die Richtung, in welcher man das Glas absprengen will. Diese Richtung zeichnet man etwa mit Kreide oder Tinte vorher auf das Glas. Gewöhnlich kann man den Spalt nicht ringsum führen; er folgt der Kohle nicht mehr, wenn man bis auf etwa eine Linie sich dem Anfange genähert hat, und man muß den Rest abbrechen.

Hat das Glas noch keinen Spalt, so kann man am Rande mit der Feile oder besser mit dem Diamant einen Strich machen und die Kohle daran halten, indem man durch Blasen sie etwas lebhafter brennen macht. Es gelingt fast immer einen Spalt zu Stande zu bringen. Auf diese Weise kann man in dem Rande eines dünnen Schoppenglases einen Spalt machen, diesen dann spiralig um das Glas herumführen. Das Glas läßt sich dadurch in einen $1\frac{1}{2}$—2 Linien breiten spiraligen Streifen zerschneiden, der sich ziemlich strecken läßt, wenn man das Glas am obern Rande und am Boden faßt. Ebenso kann man den Rand zerbrochener Cylinder wieder ebnen und aus Glastafeln beliebig geformte Stücke herausschneiden; namentlich kann man sich so aus Scherben von Uhrengläsern die runden flachen Schälchen verschaffen, wovon später beim Ampere'schen Gestell und ähnlichen Apparaten die Rede sein wird.

Unebenheiten, die beim Absprengen der Gläser zurückbleiben, entfernt man, wenn nöthig, durch Schleifen auf Sandstein oder an der kupfernen Smirgelscheibe, kleinere durch die Schichtfeile unter Benetzung mit harzigem Terpenthinöl, oder einer Lösung von etwas Kampher in Terpenthinöl.

Galvanisches Vergolden und Versilbern. Allgemeine Bemerkungen*). Unter den mancherlei Verfahrungsarten, Gold u. s. w. auf galvanischem Wege niederzuschlagen, dürfte die Zersetzung der Cyanverbindungen des Goldes, Silbers, Kupfers für den hier vorliegenden Zweck am meisten zu empfehlen sein, und als Kette dazu die Daniell'- 257

*) Dieser Gegenstand kann hier keineswegs in der Weise behandelt werden, daß die verschiedenen Methoden in Bezug auf ihren technischen Werth verglichen und angegeben werden. Es handelt sich hier nur darum, das anzuführen, was man hievon für den Unterricht in der Naturlehre braucht, und was man etwa braucht, um da und dort Apparate oder Theile derselben gut zu vergolden, mag auch das Verfahren nicht gerade das wohlfeilste oder für große Gegenstände zweckmäßigste sein, wenn es nur einfach und sicher ist.

sche, weil man diese ohne Unbequemlichkeit in jedem Locale stehen haben kann, und ihr Strom vielleicht unter allen der constanteste ist. Man kann sie wochenlang fortbrauchen und hat nur der Schwefelsäure von Zeit zu Zeit etwas frische Säure zuzusetzen und sie nach etwa 4—5 Tagen ganz zu wechseln. Will man übrigens, weil man sie gerade hat, eine Bunsen'sche oder Grove'sche Kette gebrauchen, so wird der Strom stark genug mit Salpetersäure, die bis $^1/_{10}$ verdünnt ist, und eben solcher Schwefelsäure. Für technische Zwecke dürfte es gut sein, stets eine Boussole einzuschalten, die aus einem einfachen rechtwinklicht gebogenen Kupferstreifen besteht, in dessen Mitte die Nadel sich befindet. Der Streifen wird oberhalb geschlitzt, um den richtigen Stand des Instruments vor den Eintritt des Stromes besser beurtheilen zu können. Hat man keine passende Nadel, so kann man durch ein Stückchen sogenannten Charnierdrahtes ein Stück einer guten Stricknadel stecken, und den Charnierdraht mittelst Siegellack an einen Seidenfaden (nicht einfachen Coconfaden, sondern so wie er in den Fabriken abgehaspelt wird, nämlich 3—5 zusammengeklebte Coconfäden) aufhängen, der seinerseits an einen Draht, wie Fig. 427, angebunden wird, welchen man auf das Brettchen steckt. Statt des Charnierdrahtes kann man auch aus ganz feinem Messing oder Kupferdrahte (Nr. 38—40) eine Hülse winden, wie Fig. 428. Man kann durch einige Versuche ausmitteln, wie viel Gold bei den verschiedenen Ablenkungen des Instruments in der Stunde ausgefällt wird, und kann daraus die Quantitäten der übrigen Metalle ableiten. Man hat sodann ein Maaß darüber, wie viel man Gold auf einen Gegenstand niedergeschlagen hat, was auch für den bloßen Liebhaber sehr bequem ist. Fig. 429 zeigt eine solche Boussole der einfachsten Art; das Kupfer ist bei *a* durch gefirnißtes Holz getrennt.

Fig. 427.

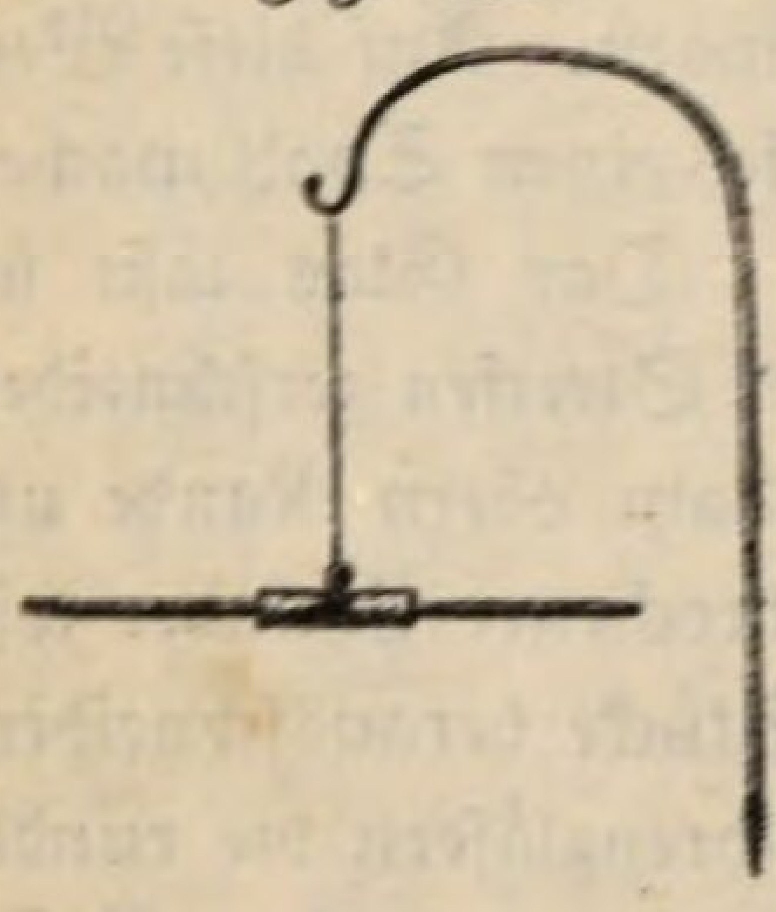


Fig. 428.

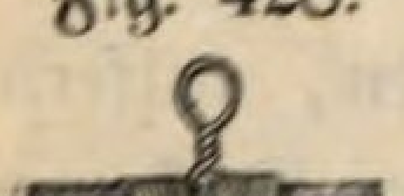
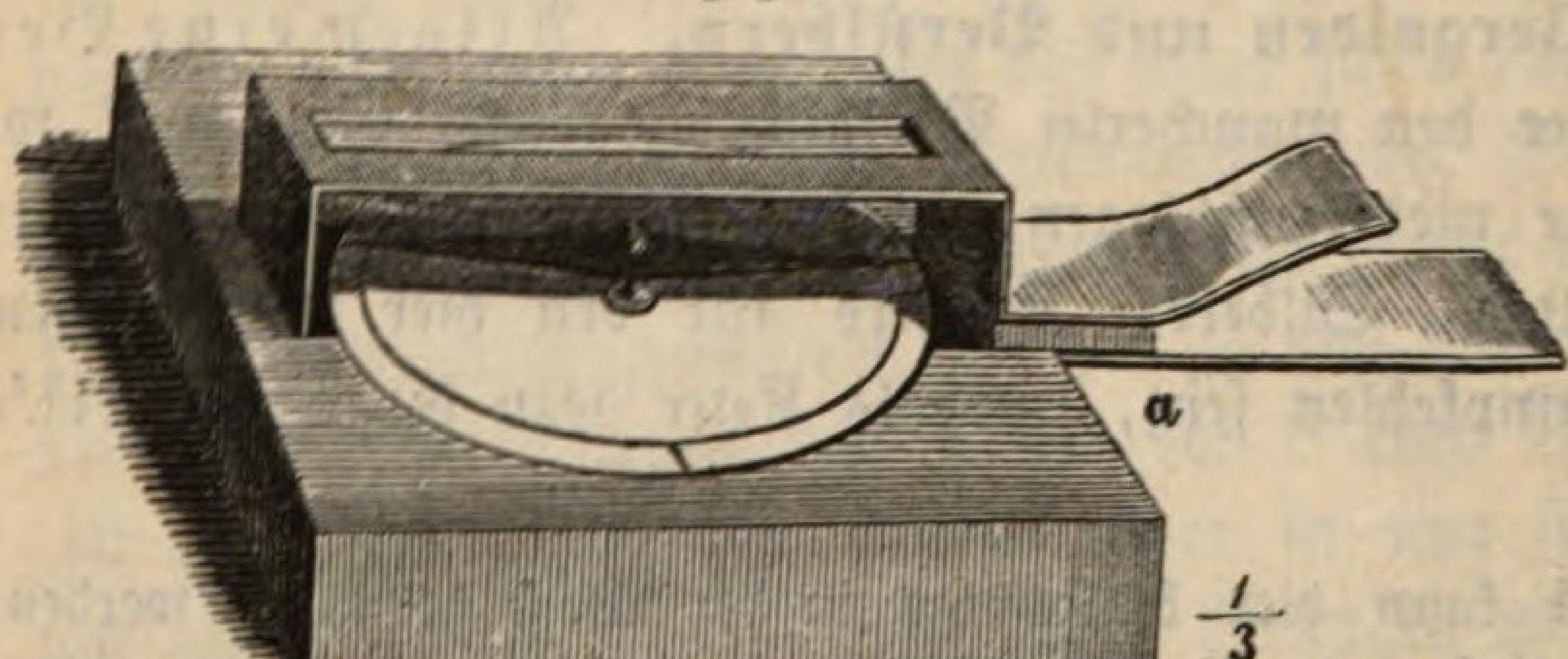


Fig. 429.



Das Cyankalium bekommt man auch jetzt gewöhnlich noch nicht im Handel und muß dasselbe daher selbst bereiten, was auf folgende Weise geschieht. Man nimmt 8 Theile Kalium-Eisencyanür (Blutlaugensalz — blausaures Eisenkali), welches grob ge-

pulvert, auf einem heißen Eisenbleche gut getrocknet und dann ziemlich fein gepulvert wird. Man setzt nun 3 Theile trockenes kohlensaures Kali zu, und mengt beide Theile innig in der Reibschale. Das Gemenge wird auf einmal in einen schwach rothglühenden hessischen Tiegel eingetragen, der die Masse wohl fassen kann, und auf dieser Temperatur erhalten, wobei die Masse unter lebhafter Gasentwicklung schmilzt. Die Temperatur darf die schwache Rothglühhitze nicht übersteigen, weil sich die Masse sonst mit lebhafter Flamme zersetzt. Die Masse wird immer klarer, und eine an einem erhitzten Glasstabe herausgenommene Probe beim Erkalten immer weißer; erstarrt die Probe zu einer weißen Masse, so nimmt man den Tiegel vom Feuer, läßt ihn einige Augenblicke ruhig, und gießt dann die klare Flüssigkeit vom Bodensatze auf ein blank gescheuertes Eisenblech aus; sie erstarrt zu einer weißen Masse, in der sich mitunter Eisenkörner zeigen, welche übrigens weiter nichts schaden, als daß man die Auflösung später decantirt. Man erhält nicht viel Cyankalium; die erhaltene Masse wird zerschlagen und in einem wohl verschlossenen Gefäße aufbewahrt. Nicht zu übersehen ist, daß die Masse und auch die daraus bereiteten Metalllösungen sehr giftig sind. Um die Lösungen der Metalle — nur Platin erfordert eine andere Behandlung — zu bereiten, wendet man die galvanische Kette selbst an, indem man an den positiven Poldraht eine Lamelle aus reinem Gold, Silber oder Kupfer, und an den negativen einen schmalen Platinstreifen anlöthet. Für Gold läßt man nur etwa einen halben Dukaten vom Goldschmiede ausstrecken, da das Dukatengold rein genug ist. Münzsilber ist aber nicht rein genug. Kupfer kann man sich auf galvanischem Wege rein verschaffen, denn es ist wenigstens nicht alles in Handel vorkommende Kupfer direct brauchbar. Man schmilzt das galvanische Kupfer in einen hessischen Tiegel unter Borax in der Esse. Die Lamellen der beiden Polardrähte werden nun in eine Lösung von Cyankalium in destillirtem Wasser getaucht und so lange gelassen, bis in Folge der Auflösung am positiven Pol sich Gold oder Kupfer auf das Platin am negativen Pol niederschlägt. Bei der Bereitung der Silberlösung muß man Gold an den negativen Pol nehmen. Die Auflösung läßt sich in verschlossenen Gefäßen gut aufbewahren; reine Cyankaliumlösung aber zersetzt sich.

Alle Gegenstände, welche auf galvanische Art einen Metallüberzug erhalten sollen, müssen vorher gehörig gereinigt werden, und zwar mittelst Lauge zuerst, dann mit verdünnter Schwefelsäure oder Ruß und verdünnter Salpetersäure, und zuletzt mit Weinsteinpulver; man bedient sich dabei einer steifen Bürste (eines Zahnbürstchens). Die Gegenstände werden unmittelbar, nachdem sie mit Weingeist gereinigt und mit reinem Wasser abgespült sind, in das zum Ueberzug gerichtete Metallbad gebracht und alsobald die Kette geschlossen, indem man zuerst den positiven Polardraht

in die Flüssigkeit bringt, und den negativen zugleich mit dem zu überziehenden Gegenstand. Den Drähten gibt man eine solche Krümmung, daß der eine mit dem zu überziehenden Stücke in Berührung bleibt, der andere aber die daran befindliche Platte parallel mit der Ebene des zu überziehenden Gegenstandes hält. Wenn es die Form des Gegenstandes erlaubt, ist es zweckmäßig, den negativen Pol, um eine passende Stelle zu wickeln, bevor man den Gegenstand einlegt, welche Stelle man aber wechseln muß, wenn sie ebenfalls überzogen werden soll.

Ein Uebelstand muß hier noch besonders erwähnt werden, vor dem man sich nicht genug hüten kann, es ist die Verunreinigung der zu überziehenden Gegenstände mit Quecksilber. Die kleinste Spur, die davon sich an den Händen, oder sonst wo, findet und mit den bereits überzogenen Gegenständen in Berührung kommt, amalgamirt sich mit der reinen Metallfläche. Man kann allerdings durch Erhitzen das Quecksilber wieder abtreiben, aber es entstehen dadurch doch gerne Flecken. Man sollte eigentlich beim Zusammensetzen der Säule, des amalgamirten Zinks wegen, sich beinahe der Handschuhe bedienen, jedenfalls aber nachdem sie zusammengesetzt ist, die Hände auf das Sorgfältigste reinigen.

Die Gefäße, in welchen die Metalllösung kommt, nimmt man von Glas oder Porcellan, wenn es sein kann, doch muß man sich hier nach dem zu überziehenden Gegenstande richten, um nicht zu viel von der Metallauflösung anwenden zu müssen, und daher auch manchmal zu thönernen Gefäßen greifen.

Die Temperatur des Bodens ist ebenfalls nicht ganz gleichgültig, doch geht die Operation bei etwa 12—15 Grad R. gut von Statten, eine Erwärmung auf 20—30 Grad beschleunigt sie zwar, was indessen die Haltbarkeit nicht gerade fördert.

Immer setzt sich auch ein Theil des Metalls in Pulverform ab, und es wird daher nöthig, sobald das Stück nicht mehr die reine Metallfarbe zeigt, dasselbe herauszunehmen und mit Weinsteinpulver und Wasser zu reinigen, nachdem es mit frischem Wasser vorher abgespült wurde. Bei dieser Behandlung muß man stets die giftige Eigenschaft der Cyanlösungen berücksichtigen. Es wird übrigens dieses Absetzen von pulverigem Metalle seltener vorkommen, wenn man der Lösung von Zeit zu Zeit Cyankalium zusetzt, welches stets im Ueberschusse vorhanden sein soll.

Der angewendete elektrische Strom darf nie so stark sein, daß sich Gasblasen auf dem zu überziehenden Stücke entwickeln; überhaupt geben schwächere Ströme eine regelmäßigere Ablagerung und erfordern seltener das Putzen.

258 **Behandlung der einzelnen Metalllösungen.** Vergolden und Versilbern. Außer den bereits vorausgeschickten Bemerkungen ist hier nur noch nachzuholen, daß diese Arbeit beinahe am besten mit einem einzel-

nen Elemente vorgenommen wird, und daß man nicht etwa meinen muß, wenn der Gegenstand schön gelb oder weiß geworden ist, er sei nun auch für irgend einen Gebrauch vergoldet, eine Meinung, welche besonders dazu beigetragen hat, die galvanische Vergoldung beim Publikum in Mißcredit zu bringen. Es ist daher besonders hiefür zweckmäßig, zu wissen, wie viel Gold in der Stunde bei einer gewissen Stromstärke — gemessen durch eine beliebige Boussole — niedergeschlagen wird, da man nach den Untersuchungen von Dumas weiß, daß Feuervergoldungen auf 50 □ Centimeter 28—130 Milligramm Gold haben. Letzteres beträgt noch keinen Dukaten pro Quadratfuß, obwohl Goldarbeiter sogar von $1\frac{1}{2}$ Dukaten pro Quadratfuß reden; es geht aber sehr wohl, $1\frac{1}{2}$ selbst 2 Dukaten pro Quadratfuß galvanisch aufzutragen. Hierbei wird jedoch der vergoldete Gegenstand, wenn er auch vorher polirt war, matt, und muß von neuem überarbeitet werden. Die Vergoldung hält aber Polirstahl und Glühwachs aus. Einen ganz einfachen Apparat zum Vergolden und Versilbern erhält man, wenn man eine Glasröhre von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Breite und 2 Zoll Länge nimmt, sie einerseits ebenschleift, dann einen Rand von Siegellack um dieselbe legt und über diesen nun eine Blase bindet. In die Glasröhre kommt ein Stück zusammengebogenes Zink, an welches ein Kupferstreifen gelöthet ist, der nachher wie Fig. 430 umgebogen wird, so daß die Spirale etwa $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Zoll von der Blase absteht; bis zur Spirale wird der Streifen mit Siegellack überzogen. Man bindet um die Glasröhre einen Draht, wie Fig. 424 und hat dann eine Kette, wie sie zur Galvanoplastik angewendet wird, zu der man als äußeres Gefäß ein kleines Trinkglas nimmt. Geladen wird diese Kette beim Zink mit frischer Cyankaliumlösung, und im äußern Gefäße mit der Gold- und Silberlösung; die zu überziehenden Gegenstände, wie kleine Münzen u. dergl. kommen auf die Spirale, und werden mit dieser überzogen, müssen aber einmal gewendet werden. Die Kette wirkt sehr kräftig. Daß dabei die Goldlösung nach und nach erschöpft wird, ist für sich klar, und man muß sie daher durch frische ersetzen, wenn sie zu arm an Gold wird.

Fig. 430.



Verkupfern. Für diesen Zweck muß man mindestens drei zur Säule verbundene Elemente anwenden, da die Zersetzung des Cyankupferkaliums viel schwieriger ist, als die der Gold- und Silberverbindung. Soll Eisen auf diese Weise als Vorbereitung zum nachherigen Vergolden verkupfert werden, so muß man dasselbe besonders sorgfältig reinigen, den negativen Pol daran binden, zuerst den positiven Pol einsenken und dann erst das zu verkupfernde Stück, weil im umgekehrten Falle das Eisen mit dem kupfernen Drahte und der Flüssigkeit eine geschlossene Kette bildet, dadurch, als die Zinkseite angegriffen wird, und dann das gehörige Haften

des Kupferüberzugs hindert, was dann ein alsbaldiges Ablösen oder doch ein Rosten zur Folge hat. Man macht die Verkupferung nur schwach, und bringt das Stück sogleich nach dem Abspülen mit dem negativen Pole in die Goldlösung, nachdem auch hier der positive Pol schon in dieselbe eingelegt ist, obwohl diese Vorsicht hier weniger nöthig erscheint. Die Vergoldung muß hier immer etwas stark gemacht werden. Leider gelingt es hier nicht jedesmal, die Vergoldung so zu machen, daß der Gegenstand später nicht rostet; gut gelungene Stücke kann man in verdünnte Salpetersäure ohne allen Nachtheil legen.

Vermessingen. Eine Messinglösung wird so bereitet, daß man in Cyankaliumlösung als positiven Pol einen Kupferstreifen, als negativen Platin einlegt, so lange bis das Platin verkupfert wird; dann setzt man als positiven Pol Zink ein, bis der Niederschlag auf dem Platin eine messinggelbe Farbe zeigt. In diesem Bade kann man nun eiserne Gegenstände vermessingen. Sie werden zuerst schwach verkupfert, dann in das Messingbad gebracht und als positiver Pol Kupfer und Zink zugleich eingelegt *), man läßt dann von letztern das eine oder das andere tiefer eintauchen, je nachdem die Färbung des Niederschlags dieses verlangt.

Verplatinen. Man wendet hiebei eine Lösung von Platinsalmiak in Wasser an; doch ist es bis jetzt noch keineswegs gelungen, diese Arbeit auf den wünschenswerthen und für praktische Zwecke nöthigen Grad von Vollkommenheit zu bringen.

259 **Die farbigen Ringe von Nobli.** Diese schönen Ringe erhält man am einfachsten auf einer kleinen Silbermünze (deutsches Vereinsgeld oder französisches Geld), welche man ziemlich dünn unter wiederholtem Ausglühen auseinander klopft, oder auf einer Daguerreotypplatte. Die Silbermünze wird zuletzt gut eben gehalten und reingeschliffen; sie hat den Vorzug, daß man die Ringe nach Belieben wegputzen und neu erzeugen kann, was bei der Daguerre'schen Patte nicht der Fall ist, indem das niedergeschlagene Kupfer sehr fest haftet und daher ein starkes Putzen erfordert. Um letzteres bequemer zu vollbringen, kittet man das Silberblech mit Siegellack auf einen Kork. Den Versuch selbst kann man am einfachsten so anstellen, das man einige Tropfen essigsaures Kupfer (Grünspahnlösung) auf das Silber gießt und dann durch die Flüssigkeit hindurch dieses mit einem gespitzten runden Stückchen Zink berührt, wozu man übrigens auch ein gespitztes Stückchen Zinkblech verwenden kann. Man setzt die Berührung so lange fort, als die Ringe noch zusehends

---

*) Mit einem positiven Pole von Messing, wie Jakobi angegeben, ist es wenigstens dem Verfasser nie gelungen, Eisen mit Messing zu überziehen, da das Stück immer Zinküberzug erhielt und der eingesetzte Messingdraht schwarz wurde.

wachsen. Schöner werden die Ringe, wenn man den Strom einer Säule von 3—6 Elementen dazu verwendet. Es wird dann das Silberblech in eine Klemmschraube genommen und mit dem negativen Pol der Säule verbunden, während man den vom positiven Pole kommenden gespitzten Draht in die Flüssigkeit tauchen läßt, ohne die Platte zu berühren. Man muß dabei die Drähte so biegen, daß sie von selbst in der gehörigen Lage bleiben und daß Blech dabei gut horizontal stehe, um etwas viel Flüssigkeit darauf gießen zu können. Kittet man das Silberblech auf Kork, so löthet man am besten vorher in die Mitte desselben einen Draht, den man beim Aufkitten durch den Kork steckt, und dieser vermittelt dann die Verbindung mit dem Pole der Säule. Statt des Silbers kann man auch Neusilberblech verwenden, die Ringe werden aber weniger schön, da diese Bleche schon für sich auf ihrer ganzen Fläche Kupfer reduciren.

Fig. 431.



Magnetische Wirkung des galvanischen Stromes. 260
Zur Erläuterung des Gesetzes, nach welchem der elektrische Strom auf die Magnetnadel einwirkt, befestigt man auf zwei Brettchen rechteckig gebogene Kupferdrähte, wie Fig. 431, wovon die Ebene des einen vertikal, die des andern horizontal gerichtet wird; sie werden so gestellt, daß die Ebene des vertikalen in die Ebene des magnetischen Meridians, und zwei Seiten des horizontalen ebenfalls in diese Ebene fallen. Man bringt eine Magnetnadel über und unter die horizontalen, so wie seitwärts an die vertikalen Theile dieser Ströme. Ebenso bringt man eine in der Ebene des magnetischen Meridians bewegliche Nadel (eine kurze Inklinationsnadel) seitwärts an die horizontalen Theile des Stromes. Um die Ampere'sche Ausdrucksweise des Gesetzes, nach welchem die Ablenkung erfolgt, noch deutlicher zu machen, kann man wirklich kleine Gliederpüppchen, deren linker Arm ausgestreckt ist, mittelst zweier Drähte der Länge nach so an die Ströme binden, daß man sie um dieselben drehen kann, daß sie aber doch in jeder Stellung durch Reibung festhalten. Man dreht dann beim Versuche jedesmal das Gesicht der Figur gegen die Nadel.

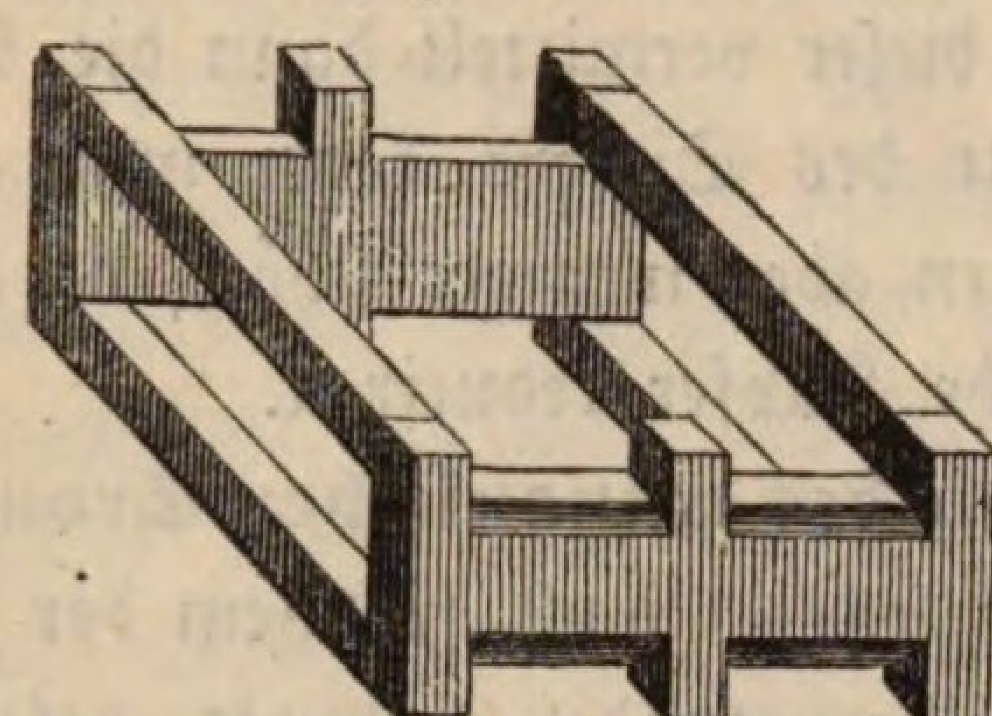
Das Galvanometer. Außer einem ganz einfachen Galvanometer, 261
wie das in §. 257 beschriebene, welches auch noch zu anderen Zwecken, als dem dort angegebenen brauchbar ist, müssen hier als eigentliche Meßinstrumente näher erörtert werden: der Multiplicator, die Tangentenboussole und die Sinusboussole.

Der Multiplicator. So wie man für die Elektricität im Zustande der Spannung verschieden empfindliche Elektrometer gebraucht, so sollte man auch etwa zwei Multiplicatoren haben; der eine derselben sollte 20—30 Windungen eines $1/2$—$2/3$ Millimeter dicken, der andere 100—200

Windungen von sehr feinem Kupferdrahte haben, wie er etwa zum Ueberspinnen der Darmsaiten genommen wird. Die Einrichtung beider ist im Uebrigen gleich und beide werden mit astatischen Nadeln versehen; sollte dadurch für irgend einen Zweck die Empfindlichkeit zu groß werden, so kann man stets leicht die innere Nadel entfernen.

Der gut mit Seide übersponnene Draht wird auf ein Rähmchen von Holz, etwa wie Fig. 432, gewickelt, welches quadratisch ist, und im Lichte etwa 2 Zoll Seite hat; Zwei gegenüberstehende Seiten desselben sind so tief von oben und unten eingeschnitten, daß das Holz noch etwa 3—5 Linien stark bleibt, und also auch die Drahtwindungen innerhalb eben soviel Abstand erhalten. Die Drahtwindungen kommen in mehreren Schichten zwischen die oben und unten stehen gebliebenen Zapfen zu liegen, so daß oberhalb ein Schlitz zwischen denselben offen bleibt und also der Uebergang von einer Seite zur andern stets auf der untern Seite gemacht wird. Die Drahtenden müssen auf derselben Seite des Brettchens hervorstehen, und die Windungen werden durch einen Faden zusammengebunden, um das Aufspringen zu verhüten, was aber bei ausgeglühtem Drahte nicht stattfindet. Das fertige Rähmchen wird nun mittelst von unten in die untern Zapfen desselben geführten Holzschrauben auf ein quadratisches Brettchen befestigt, welches etwa 2—3 Zoll mehr Seite hat als das Rähmchen und mit Stellschrauben versehen ist.

Fig. 432.



Auf die oberen Zapfen des Rähmchens befestigt man ebenfalls durch Schrauben eine mit Papier bezogene hölzerne oder besser eine elfenbeinerne Platte (Siehe §. 200), auf welcher ein Kreis getheilt ist, dessen äußerer Limbus die Länge der Nadeln zum Durchmesser hat. In der Mitte erhält diese Platte einen dem Schlitze in den Windungen parallelen schmalen Schlitz von Theilung zu Theilung, nachdem man vorher noch eine zu dem auszuschneidenden Durchmesser senkrechte Linie durch den Mittelpunkt gezogen hat, zur bessern Erkennung des letztern. Die Mittellinie des Schlitzes entspricht dem 0 der Theilung.

Die Nadeln werden aus stählernen sehr dünnen Stricknadeln genommen und erhalten in der Länge etwa 2—3 Linien weniger als der innere Raum des Rähmchens gestatten würde, um die eine derselben in schiefer Richtung durch den Schlitz der getheilten Platte einführen zu können. Die Nadeln werden entweder in eine, wie Fig. 433, aus dünnem Drahte gewundene Doppelhülse gesteckt, oder man läßt hiezu zwei dünne silberne Charnierdrähte durch einen dünnen Stift zusammenlöthen, wie Fig. 434

zeigt. Durch einen Strohhalm, an welchen man ein Drahthäckchen macht, kann man dieselben allerdings auch stecken, aber ihre parallele Lage ist darin nur wenig gesichert. Aufgehängt werden die Nadeln gewöhnlich an einem einfachen Coconfaden, den man unterhalb an die Hülse anknüpft und oben um einen etwas langen Schraubenkopf aufwickelt, der sich in einem auf das Brettchen befestigten Träger befindet, Fig 435. Dieser Träger hat an seinem Ende einen wohl ausgeglätteten Einschnitt, in welcher der Faden zu liegen kommt, und dieser Einschnitt muß sich ziemlich genau über dem Mittelpunkte der Theilung befinden, was aber leicht zu erlangen ist, wenn das untere Ende des Trägers durch drei Schrauben auf das Brettchen befestigt ist. Mittelst der Schraube, um welche der Faden gewickelt ist, kann man das Nadelsystem heben und senken. Die obere der beiden Nadeln dient zugleich als Index, während die untere zwischen den Windungen sich bewegt; es ist sehr zweckmäßig, wenn die obere Nadel irgendwo auf der getheilten Platte befestigt werden kann, weil sonst der Faden beim Umhertragen leicht abreißen könnte, und das Wiederanknüpfen desselben die Geduld manchmal sehr in Anspruch nimmt. Diese Befestigung ist auf mancherlei Weise ausführbar, Fig. 436 zeigt eine solche, wo *a* ein Lappen aus Messingblech ist, welcher durch die Schraube *b* niedergehalten wird und, wenn sie gelüftet ist, seitwärts gelegt werden kann, wie die punktirte Linie zeigt; unter diesen Lappen legt man das eine Ende der Nadel und klemmt es ein.

Fig. 433.

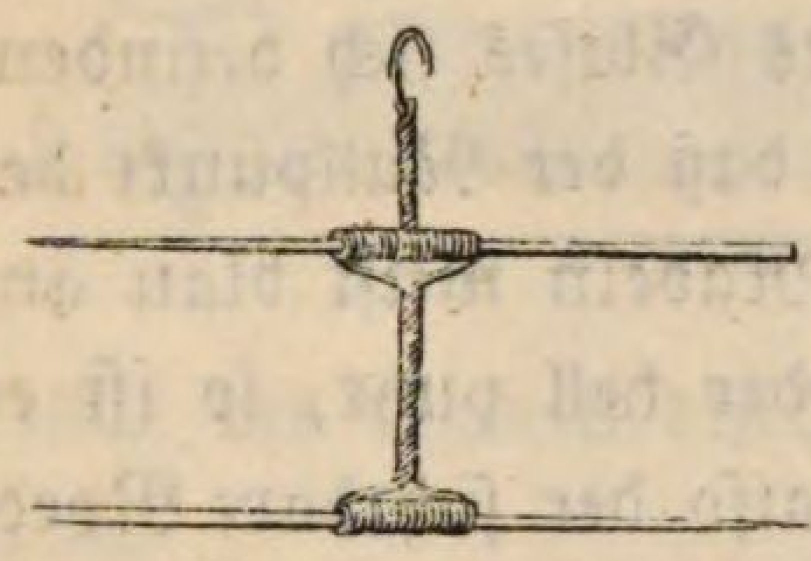


Fig. 434.

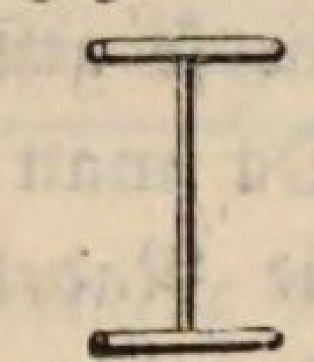


Fig. 435.

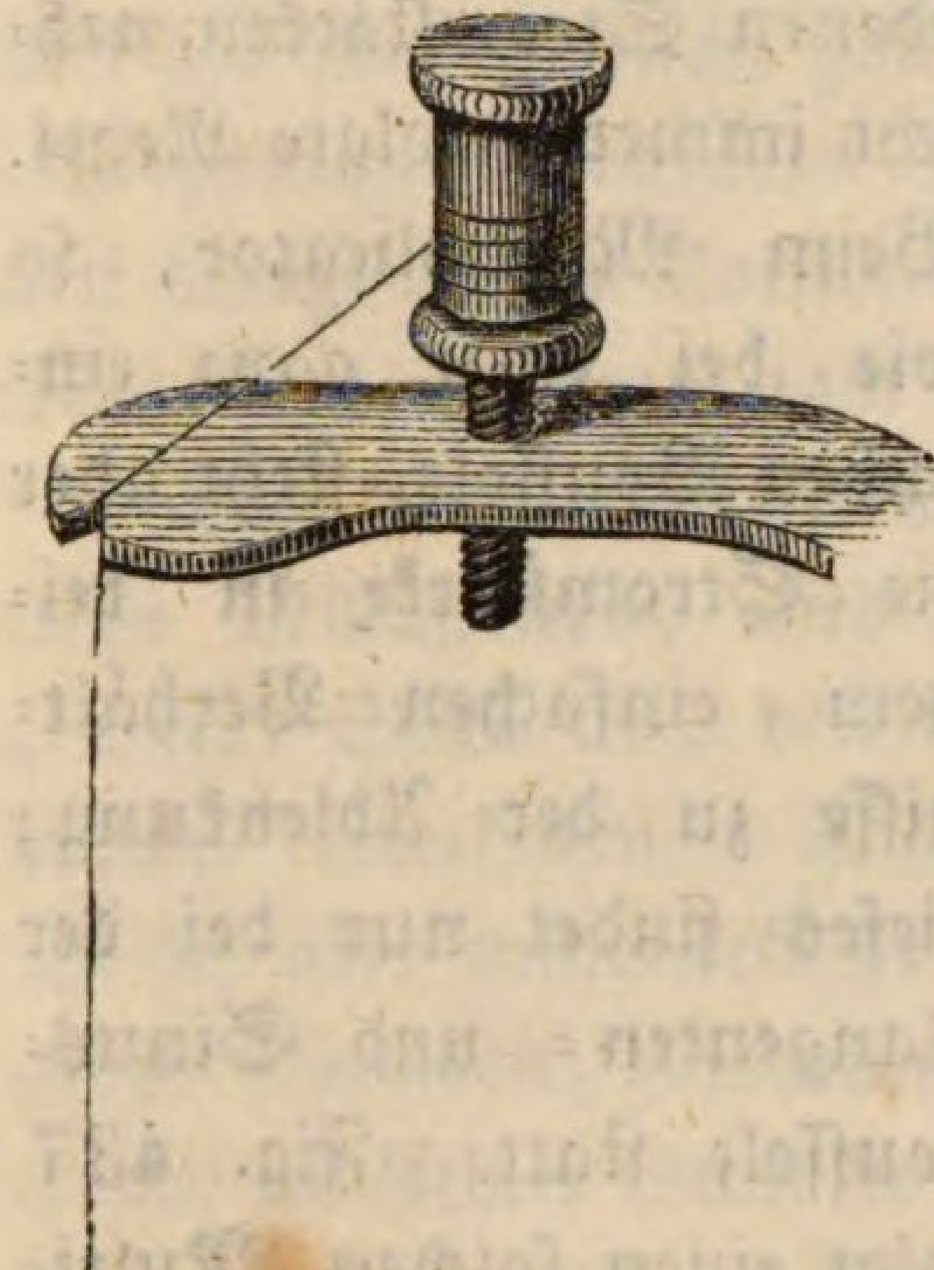
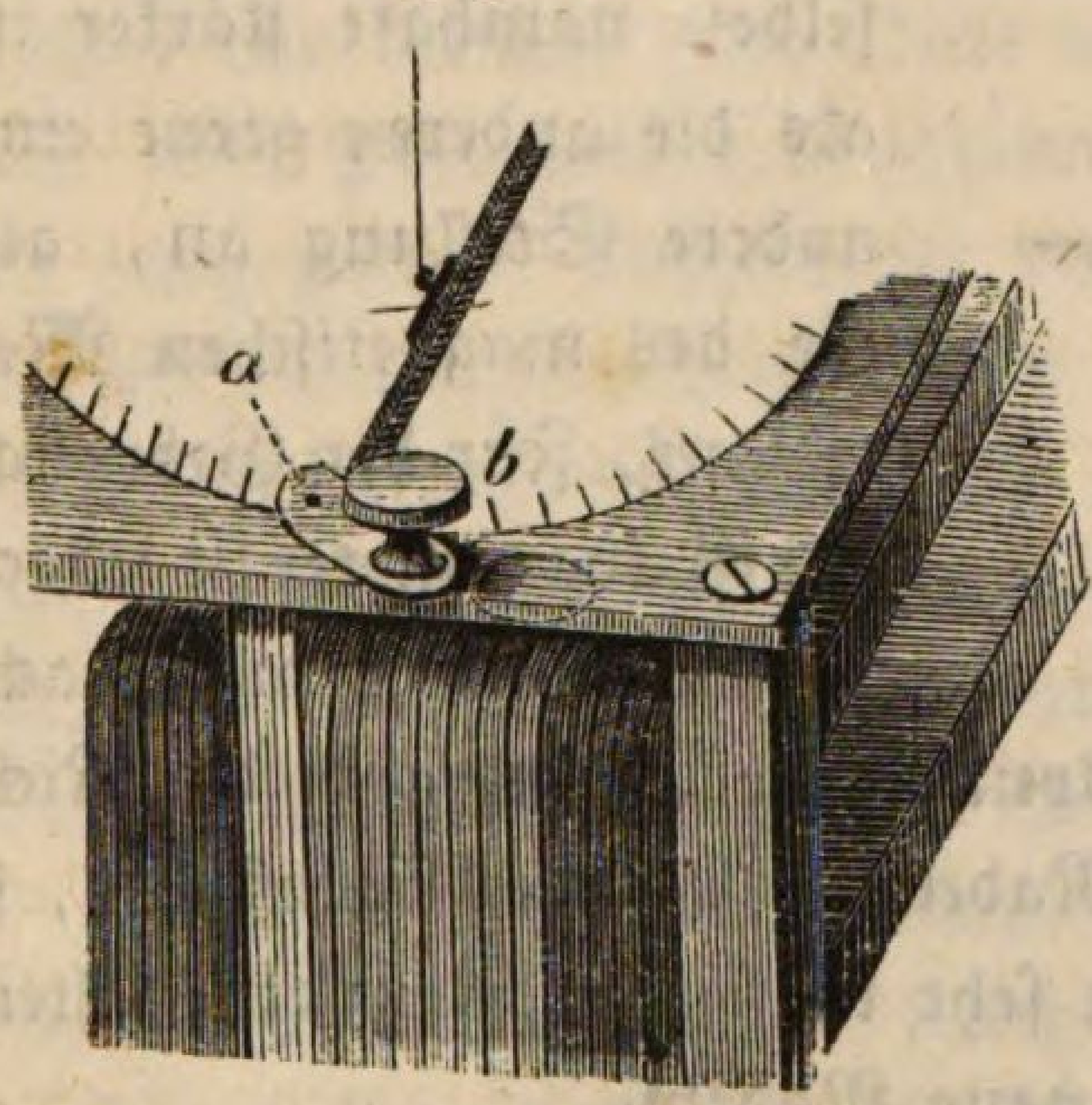


Fig. 436.

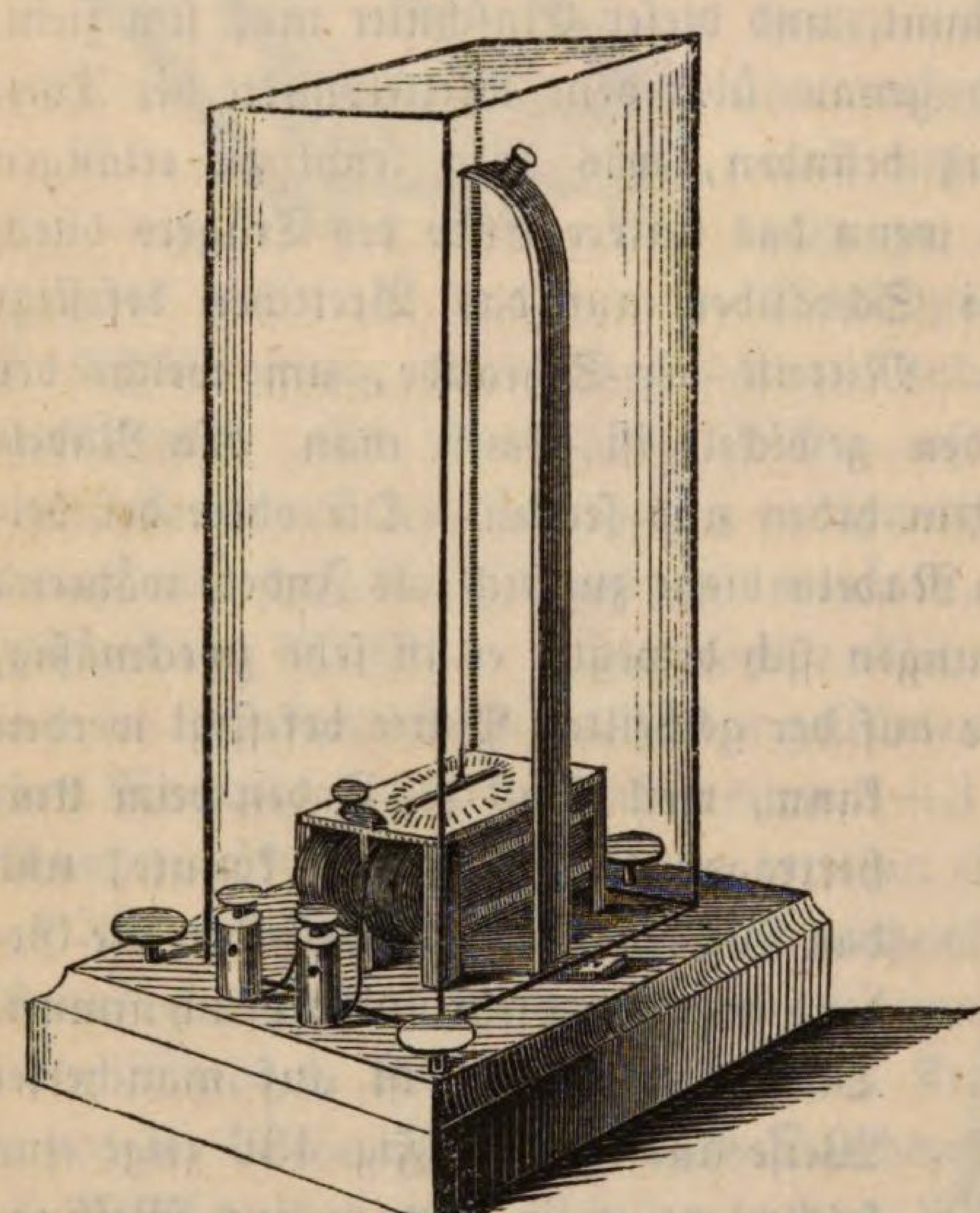


Coconfaden muß man sich meist selbst einmal von einem Cocon im warmen Wasser ein gehöriges Stück abwickeln, da Cocons leichter, als solche einfache Fäden zu bekommen sind.

Die Enden des Multiplicatordrahtes werden am besten unter Klemmschrauben, wie Fig. 380, gelegt oder auch an solche verlöthet. Ueber das

Instrument wird ein Glassturz gestellt, oder ein aus Glasscheiben mit Papierstreifen zusammengepapptes Glasgehäuse. Die Stellschrauben und Klemmschrauben müssen natürlich außerhalb des Glases sich befinden. Beim Gebrauche wird der Multiplicator so gestellt, daß der Nullpunkt der Theilung nach Norden gerichtet ist. Da man die Nadeln meist blau anlaufen läßt und auf der Südseite die Nadel wieder hell putzt, so ist es bequem, wenn die obere Nadel die stärkere ist, und also der sichtbare Nordpol nach Norden zeigt. Daß man beim Gebrauche nicht den ersten Ausschlag der Nadel, sondern ihre Abweichung, nachdem sie zur Ruhe gekommen ist, als Vergleichungspunkt für die verschiedenen Stromstärken nehmen dürfe, ist eine allgemeine, wenn gleich nicht immer befolgte Regel.

Fig. 437.



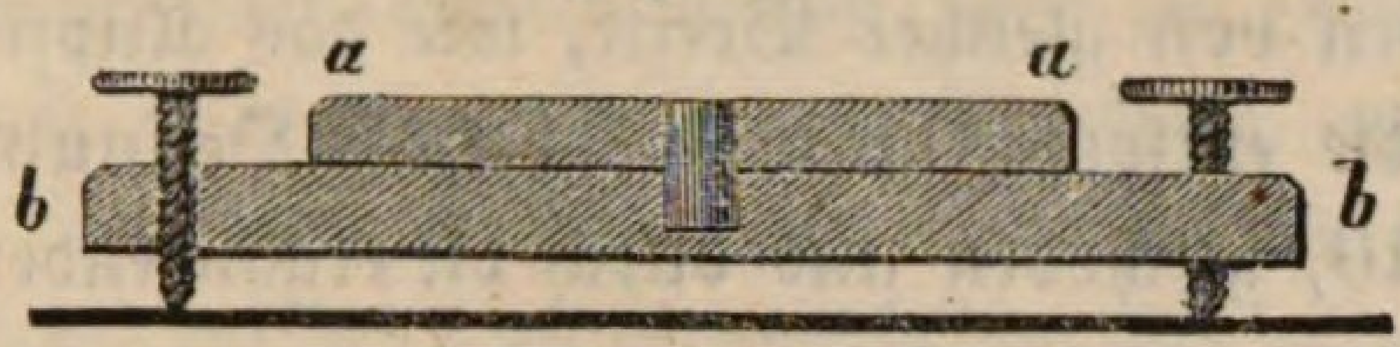
Beim Multiplicator, so wie bei einer ganz einfachen Boussole, steht aber die Stromstärke in keinem einfachen Verhältnisse zu der Ablenkung; dieses findet nur bei der Tangenten- und Sinusboussole statt. Fig. 437 zeigt einen solchen Multiplicator im Ganzen.

Astatische Nadeln nehmen, wenn nicht eine derselben namhaft stärker ist als die andere, gerne eine andere Stellung an, als die des magnetischen Meridians. Für den Gebrauch am Galvanometer ist jedoch dieses nicht gerade nachtheilig, wenn man nur immer den Nullpunkt der Theilung in die Richtung der Nadel bringt. Haben einmal Nadeln diese üble Eigenschaft, so hilft wiederholtes Magnetisiren mit einem sehr kräftigen Magnete, allein nicht immer, und man nimmt am besten neue Nadeln.

Wenn man die obere Platte von Kupfer nimmt und sie mit Papier überzieht, um die Theilung darauf zu machen, so dient sie als Dämpfer für die Schwingungen der Nadel, so daß diese dann eher zur Ruhe kommt.

Sehr bequem ist die Einrichtung, wo das Rähmchen mit den Drahtwindungen und die Klemmschrauben nebst dem Glasgehäuse auf einem be-

Fig. 438.



sonderen Brettchen $a\,a$, Fig. 438, stehen, welches sich um einen Zapfen des Brettchens $b\,b$, das die Stellschrauben hat, drehen läßt, da man in diesem Falle das Einstellen der Nadeln durch Drehung des oberen Brettchens leichter bewirken kann.

Zweckmäßig ist es bei 90^0 und 270^0 dünne, etwa 2—3 Linien hohe Messingstifte senkrecht in die Platte mit der Theilung einzuschrauben, damit die Nadeln nicht ganz herumgeworfen werden können. Obwohl nämlich einfache Coconfäden innerhalb einer Umdrehung und bei der angegebenen Länge keinen Torsionswiederstand ausüben, so tritt dieses doch bei mehreren Umdrehungen nach und nach ein.

Das Ueberspinnen des Drahtes. Feiner Draht, bis zur Dicke 262
eines Millimeters, wird immer mit Seide übersponnen; für Galvanometer gewährt Seide noch den Vortheil, daß die Drähte beim Aufwickeln weniger Raum einnehmen. Dickere Drähte überspinnt man jetzt gewöhnlich mit Wolle, oder umwickelt sie mit seidenen Bändern, die man aus altem Seidenzeuge schneiden, zusammennähen und ausbügeln läßt, da neue Bänder sehr theuer zu stehen kommen. Dünne Drähte kann wohl jeder Posamentier in beinahe beliebiger Länge überspinnen, dickere aber lassen sich nicht mehr gut auf kleine Spulen wickeln, und es hängt dann von der Localität des Arbeiters ab, wie lang das Stück sein soll, das er überspinnen kann, obwohl man auch nicht gerade kostspielige Maschinen hat, durch die man Drähte von beinahe jeder Dicke in beliebiger Länge überspinnen kann. Läßt man beim Posamentier überspinnen, so wird es am besten sein, demselben den ausgeglühten Kupferdraht vorzuwägen und mit ihm über den Preis des versponnenen Quentchens Seide zu accordiren, damit er kein Interesse habe, die Seide zu dünne auflaufen zu lassen; da man auch in der Farbe verschossene Seide verwenden kann, so wird man, wenigstens bei dickeren Drähten, nur wenig über den eigentlichen Seidenpreis bezahlen müssen. Bei Wolle verhält sich das freilich anders.

Müssen die Drähte zusammengesetzt werden, so schabt man die Enden rein und dreht sie mit zwei Flachzangen fest aneinander. Bei dickeren Drähten stört dieses die Regelmäßigkeit der Windungen, und man wird hier besser thun, die Windungen mit leichtflüssigem Silberschlagloth zusammen zu löthen und dann auf die gehörige Dicke zu befeilen; die entblößte Stelle kann man von der Hand mit Seide oder Wolle umwickeln.

Die Tangentenboussole. Sie besteht aus einem starken kupfernen 263
Ringe (2—3 Millimeter dick und 1—2 Centimeter breit) von mindestens 1 Fuß Durchmesser, dessen Enden nicht zusammen gelöthet, sondern gerad-

linig abgebogen sind, wie Fig. 440. Zwischen die beiden Ausläufer des Ringes wird ein gefirnißtes Brettchen von gleicher Breite, wie das Kupfer gelegt, und dann das Ganze in die entsprechend weit gebohrte Oeffnung des Cylinders *a a*, Fig. 439 und 440, geschoben und durch die ergänzenden

Fig. 439.

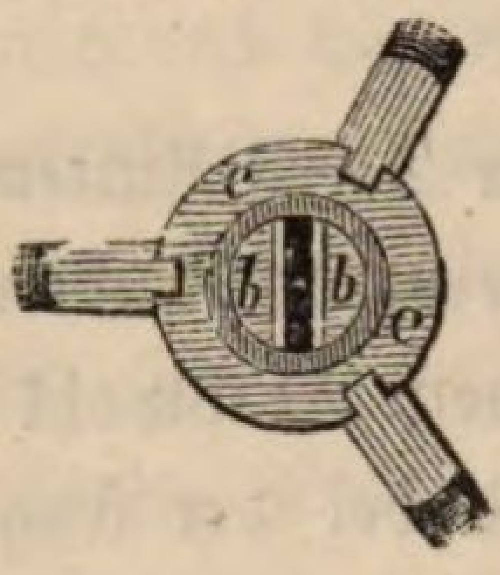
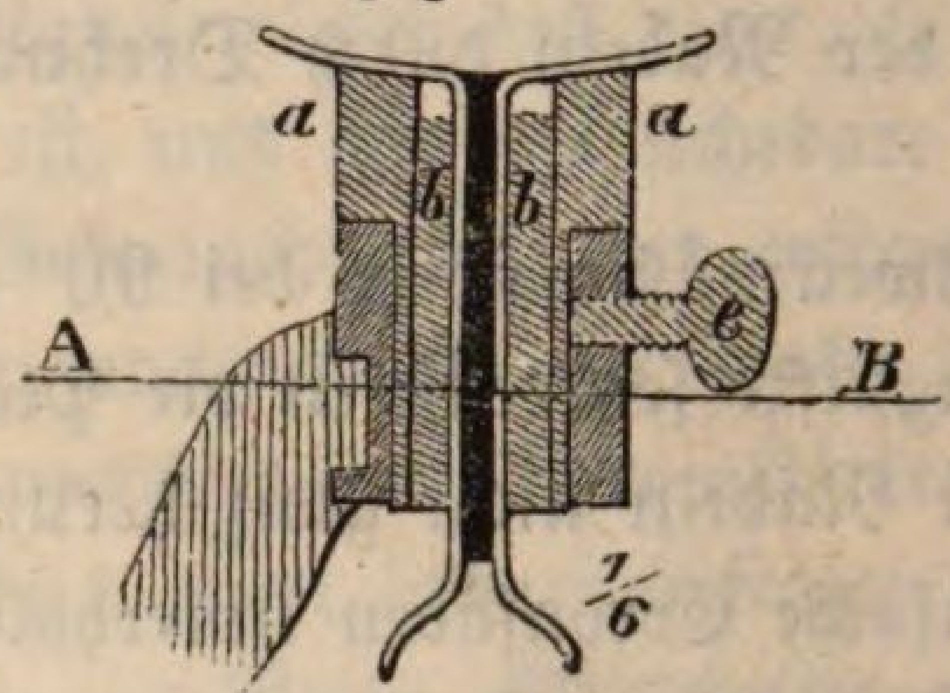


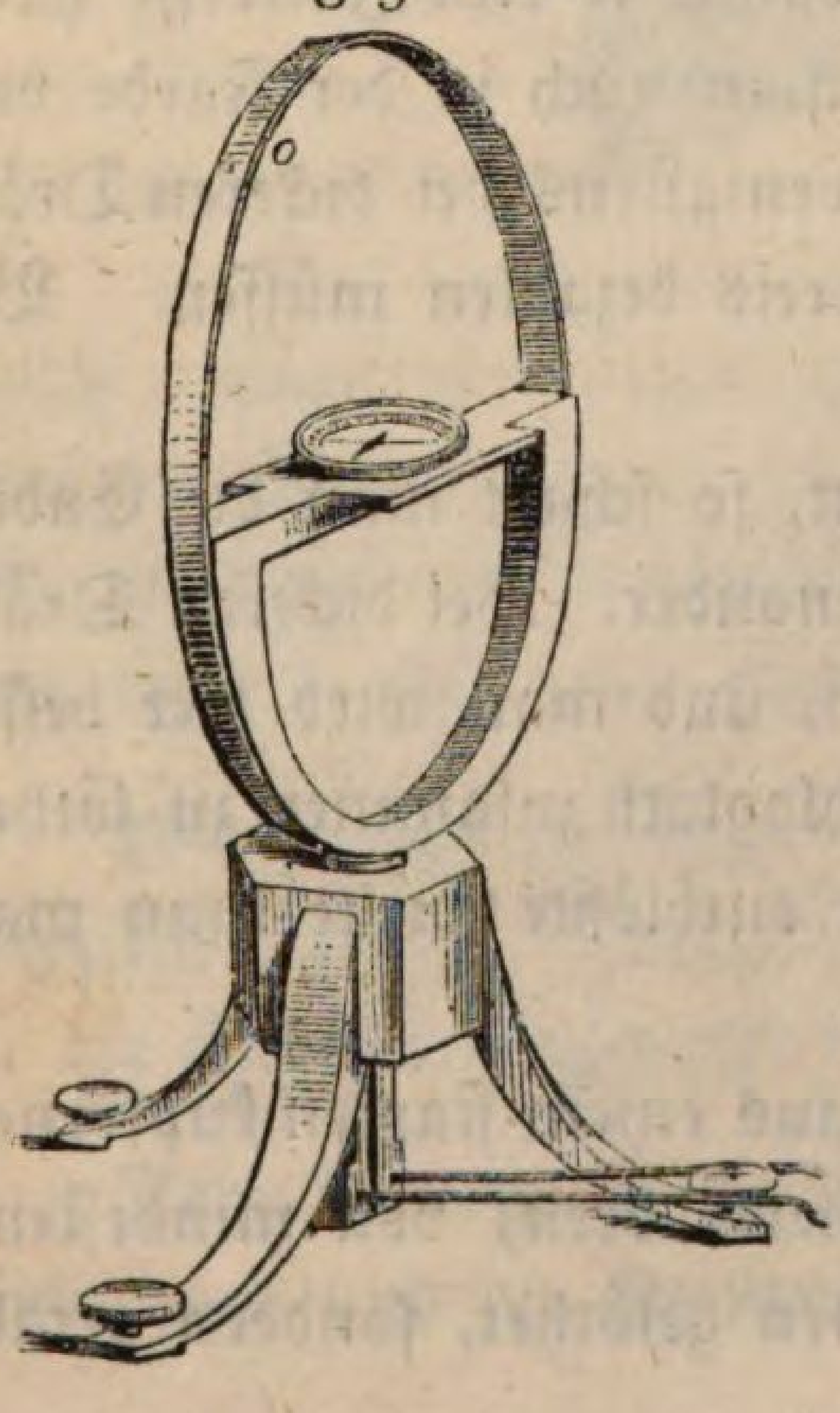
Fig. 440.



Holzstücke *b b* darin befestigt. Der Cylinder *a a* erhält drei Füße mit Stellschrauben und zwischen diesen ragen die von einander gebogenen Enden des Kupferstreifens heraus, um an sie mittelst Klemmschrauben, welche am besten daran verlöthet sind, die zuleitenden Drähte zu befestigen. Letztere werden bis 1 Meter lang und 2 — 3 Millimeter dick genommen, mit Seide umwickelt und um einander herumgewunden, damit die vorwiegende Einwirkung eines derselben verhütet und die Einwirkung der übrigen Stromtheile durch die Entfernung vermieden wird.

Anstatt die Füße unmittelbar an den Cylinder *a a* zu befestigen, in welchen die Enden des Kupferstreifens gesteckt sind, kann man diesen zu einem Zapfen abdrehen, der sich in einem zweiten Cylinder *c c*, Fig. 439, drehen und durch eine Druckschraube *e* feststellen läßt, und erst an diesem Cylinder die Füße anbringen. Man erreicht dadurch den Vortheil, daß man den Ring unabhängig von den Füßen in die gehörige Stellung drehen kann.

Fig. 441.

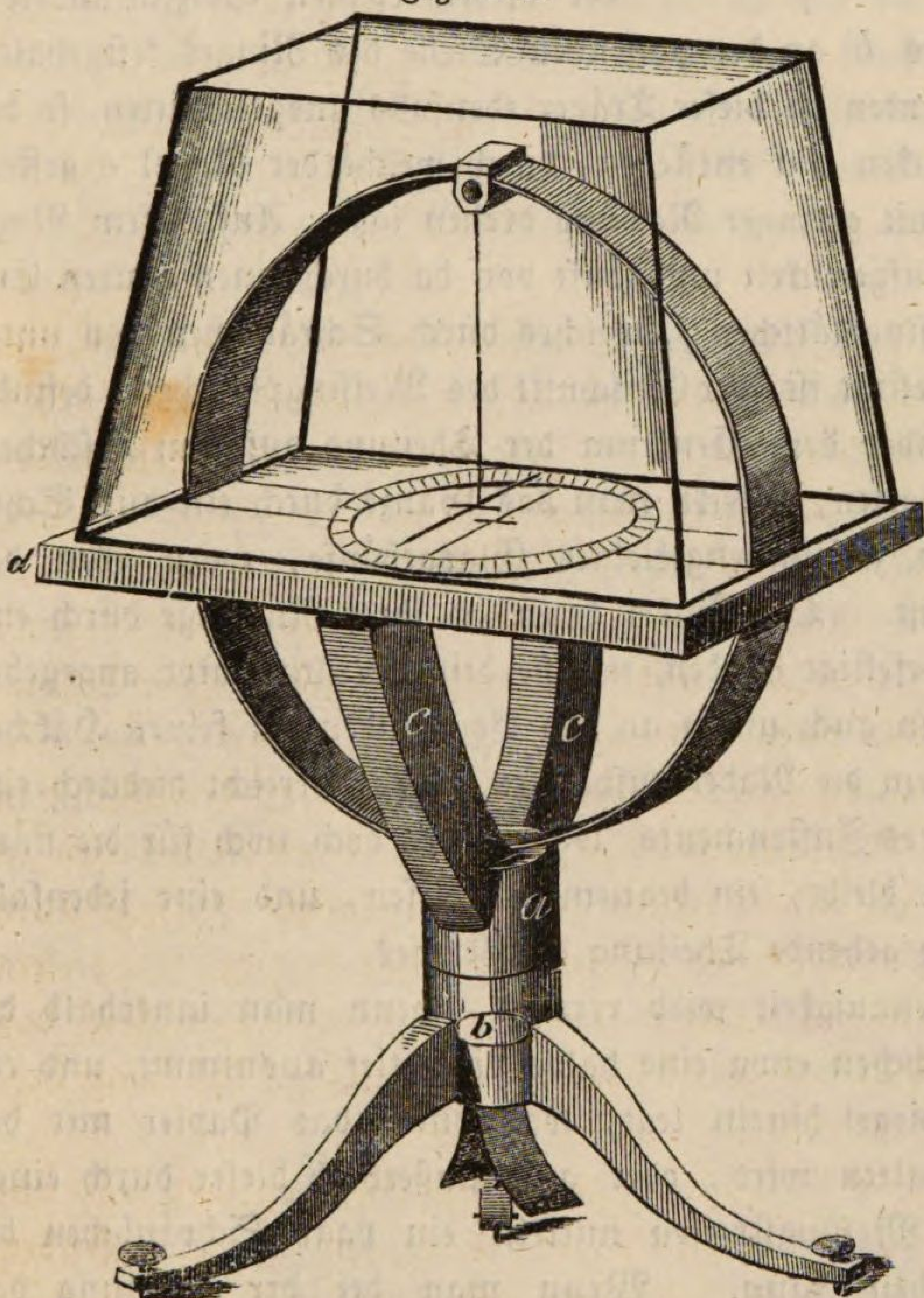


In den kupfernen Ring setzt man ein hölzernes, mit einer zum Ringe passenden kreisförmigen Vertiefung versehenes Gestell, welches bestimmt ist, eine Boussole mit nur 1 Zoll langer Magnetnadel zu tragen. Das Gestell muß so hoch sein, daß der Mittelpunkt der Nadel mit jenem des Kupferrings zusammenfällt. Fig. 441 zeigt den ganzen Apparat mit der Abänderung, daß die Zuleitung durch zwei parallele Drähte, welche durch Holz von einander getrennt gehalten werden, dargestellt ist.

Die Einrichtung, wie sie Fig. 441 zeigt, ist zwar die gewöhnliche, hat aber den Nach-

theil, daß man eine besonders gut gearbeitete Magnetnadel haben muß, die kaum eine Theilung von zwei zu zwei Graden zuläßt, welche außerdem auch nur eine unsichere Ablesung erlaubt, wenn die Abweichung der Nadel klein ist, also nicht viel über die Ebene des Kupferringes hervortritt. Statt dessen ist es zweckmäßiger und wohlfeiler auf den Cylinder *a*, Fig. 442, zwei Stützen *c c* anzubringen, welche ein kleines Tischchen *dd* tragen, dessen Länge etwa 2 Zoll mehr beträgt, als der Durchmesser des Ringes, und das etwa 6 Zoll breit ist. Dieses Tischchen erhält in der Mitte einen Ausschnitt, um den Ring durchstecken zu können, derselbe wird aber sodann durch ein eingesetztes Stück wieder eben ausgefüllt. Auf dieses Tischchen kann man nun entweder eine größere Boussole aufstellen, welche die in §. 181 beschriebene Einrichtung hat, oder man bringt auf das Tischchen selbst eine auf Papier verzeichnete Kreistheilung an, welche die beiden Nullpunkte in einer zur Ebene des Ringes senkrechten Linie hat; die Zahlen der Theilung laufen dann beiderseits von jedem Nullpunkte bis 90.

Fig. 442.



Die Nadel besteht in diesem Falle aus einem Zoll langen Stücke einer stählernen Stricknadel mit einer Hülse, wie Fig. 428, und an diese Hülse werden senkrecht zur Nadel und in gleicher Ebene mit ihr zwei sehr dünne Drähte angebunden, welche bis auf die Kreistheilung herausreichen. Aufgehängt wird diese Nadel durch einen einfachen Coconfaden an dem Kupferringe selbst, durch die in Fig. 443 und 444 abgebildete Vorrichtung. Diese

Fig. 443.

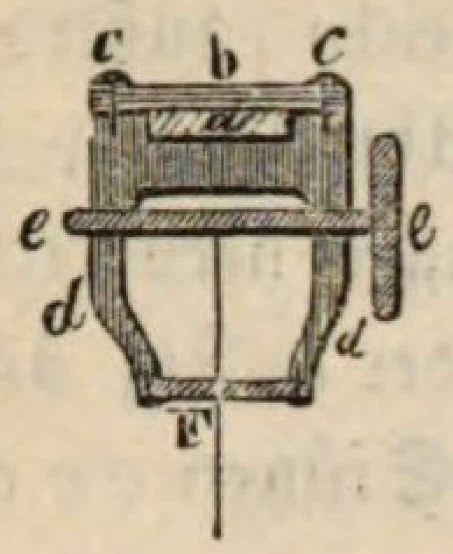
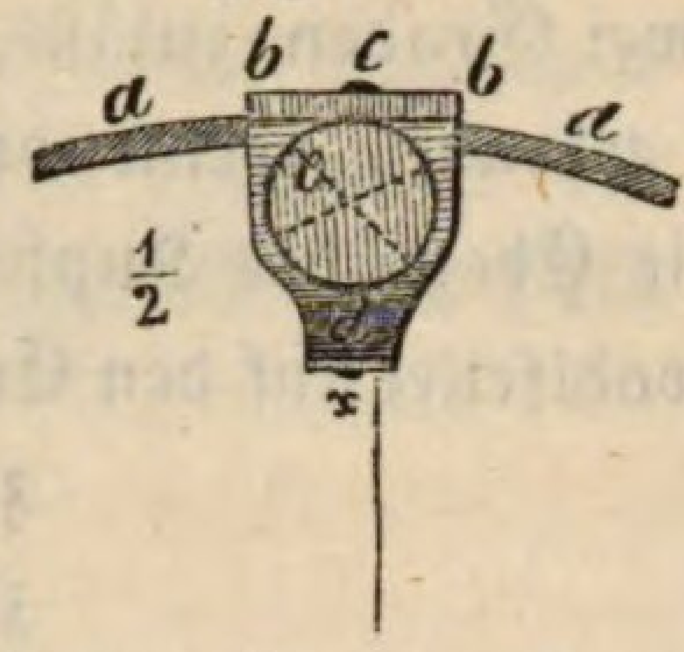


Fig. 444.



besteht aus einem Stückchen Holz, das oberhalb einen für den Ring *a* passenden Einschnitt hat. Der Einschnitt muß etwas weniger tief sein, als die Dicke des Ringes erfordert, damit der Träger des Fadens mittelst der beiden kleinen Holzschrauben *c* und des Holzstückchens *b* an der passenden Stelle des Ringes festgehalten werden kann. Von unten ist dieser Träger ebenfalls ausgeschnitten, so daß dadurch die beiden Backen *d d* entstehen, durch welche der Nagel *e* gesteckt wird, der sich darin mit geringer Reibung drehen läßt. Auf diesem Nagel wird der Coconfaden aufgewickelt und läuft von da durch einen glatten Einschnitt über das Messingblättchen *f*, welches durch Schräubchen von unten auf die Backen *dd* befestigt ist; der Einschnitt des Messingplättchens befindet sich genau senkrecht über dem Centrum der Theilung auf dem Tischchen. Um den Luftzug abzuhalten, bedeckt man das Ganze durch ein aus Scheiben mit Papierstreifen zusammengeklebtes Glasgehäuse, wozu eben das Tischchen erforderlich ist. Die Nadel kann in ihrer Ruhelage durch eine ähnliche Vorrichtung befestigt werden, wie sie beim Multiplicator angegeben wurde, oder man kann auch unten an den Coconfaden ein feines Häkchen anbinden und an diesem die Nadel aufhängen. Man erreicht hiedurch eine große Empfindlichkeit des Instruments, während es doch noch für die stärksten Ströme brauchbar bleibt, ein bequemes Ablesen, und eine jedenfalls bis auf einzelne Grade gehende Theilung des Kreises.

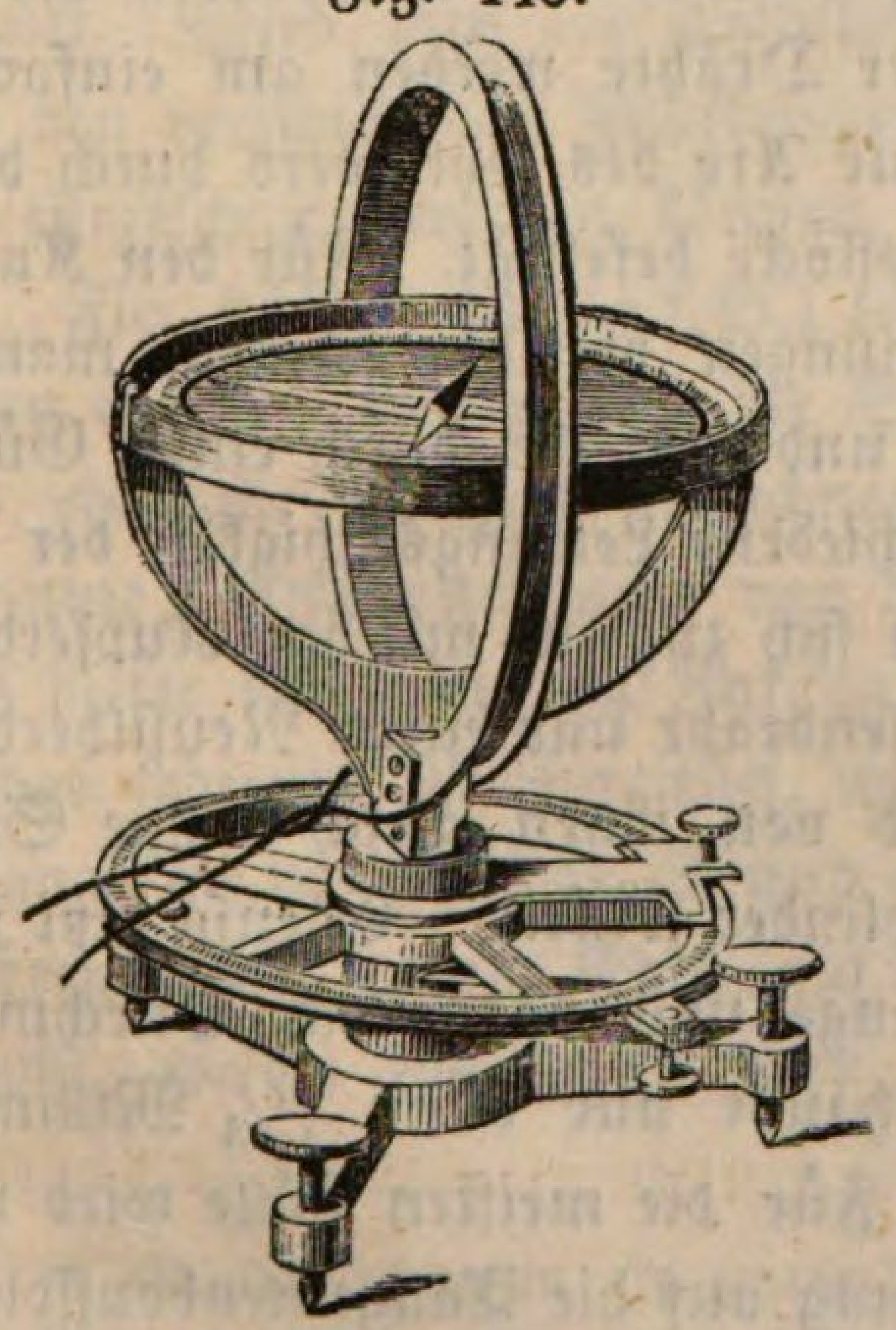
Noch größere Genauigkeit wird erreicht, wenn man innerhalb der Kreistheilung das Tischchen etwa eine halbe Linie tief ausnimmt, und ein Stück von einem Spiegel hinein legt, was durch das Papier mit der Theilung zugleich gehalten wird, oder auch außerhalb dieser durch einen kreisrunden schmalen Messingstreifen mittelst ein paar Schräubchen besonders gehalten werden kann. Wenn man bei der Ablesung das Auge jedesmal in die Stellung bringt, daß der feine Draht sein Spiegelbild deckt, so vermeidet man sicher einen parallaktischen Fehler. Es ist diese Einrichtung zu gleichem Zwecke noch bei manchen anderen Instrumenten anwendbar, wo es sich um genaues Ablesen handelt.

Bei der hier beschriebenen Einrichtung der Tangentenboussole wird eine Sinusboussole beinahe entbehrlich, da sich letztere nur dadurch von der gewöhnlichen Tangentenboussole auszeichnet, daß sie auch für kleinere Ströme empfindlich genug ist; sie ist aber zusammengesetzter und darum auch theurer. Beim Gebrauch stellt man das Instrument so, daß die Ebene des Ringes mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt und richtet mittelst der Stellschrauben der Füße den Tisch horizontal; letzteres ist

erreicht, wenn die Mitte der Nadel mit der Mitte des getheilten Kreises zusammenfällt, vorausgesetzt, daß man den Träger des Coconfadens einmal richtig gestellt habe, für welchen Zweck freilich das Tischchen einmal mit der Wasserwage eben gestellt worden sein muß. Um die Ebene des Rings richtig in den magnetischen Meridian zu bringen, muß die Linie der Kreistheilung von 90 zu 90 Grad ausgezogen sein — auf einen Spiegel mit dem Diamant — und genau mit der Mitte des Ringes zusammen fallen. Um zu beobachten, ob die Richtung der Nadel genau mit dieser Linie übereinstimme, erhält der Kupferring zwei etwas länglichte Schlitze in der Entfernung von etwa 45° von der Ebene des Tischchens. Letzteres ist auch erforderlich, wenn, wie bei Fig. 441, die Nadel unmittelbar die Theilung angiebt.

Die Empfindlichkeit solcher Instrumente, d. h. das Verhältniß der Tangente der Ablenkung zur wirklichen Stromstärke, hängt von den Dimensionen derselben ab, und sollte einmal durch eine Anzahl von Versuchen bestimmt werden, indem man zugleich den Wasserzersetzungsapparat Fig. 421 einschaltet, und das Knallgas in einer geeichten Röhre auffängt. Man berechnet dann aus den einzelnen Versuchen die der Tangente 1 entsprechende Knallgasmenge, und nimmt aus allen das Mittel, wodurch man die Eiche der Boussole erhält, um dann nach dieser leicht die jeder Stromstärke entsprechende Menge Knallgas angeben kann. So werden die Angaben der einzelnen Instrumente vergleichbar. Die Tangentenboussole ist aber jedenfalls als Strommesser viel bequemer und besser als der Wasserzersetzungsapparat; denn letzterer nimmt einen Beobachter für sich in Anspruch, während ein Blick auf die Boussole den Zustand des Stromes erkennen läßt; außerdem hat der Wasserzersetzungsapparat noch den Nachtheil, daß er den Strom bedeutend schwächt.

Fig. 445.



Die Sinusboussole. Bei dieser wird der elektrische Strom durch einen Kupferdraht geleitet, welcher ein oder gewöhnlich mehrere Male um einen hölzernen Kreis von 6—8 Zoll Durchmesser gewunden ist, mit dessen Mittelpunkt die Mitte einer Magnetnadel zusammenfällt, welche sich in einem fest mit dem hölzernen Ringe verbundenen Gehäuse befindet Fig. 445. Dieses System ist an einer mit einem ho- 264

rizontalen getheilten Kreise concentrischen Axe befestigt und führt zugleich den Index dieser Theilung, welcher auf Null stehen muß, wenn die Drahtwindungen in der Ebene des magnetischen Meridians gestellt sind, was vor dem Gebrauche geschehen muß. Wird die Nadel durch den Strom abgelenkt, so führt man ihr die Drahtwindungen so lange nach, bis diese und die Nadel wieder in derselben Ebene liegen, wo denn die Stromstärke den Sinus des Ablenkungswinkels, welcher auf dem horizontalen Kreise abgelesen wird, proportional ist. Auch hier kann ein Coconfaden zum Aufhängen der Nadel verwendet werden. Die Empfindlichkeit des Instruments nimmt zu mit der Zahl der Windungen. Bei Strömen von einer gewissen Stärke wird es jedoch in jedem Falle unbrauchbar, da die Sinuse nicht wie die Tangenten ins Unendliche wachsen. Es giebt jedoch Mittel, ein solches Instrument auch für diese Fälle einzurichten, doch wäre es gegen den Zweck dieses Buches, weiter hiebei ins Einzelne zu gehen, da eine Tangentenboussole für die Zwecke des Unterrichts und so wie für wissenschaftliche Untersuchungen vollkommen ausreichend ist, und bei einer Sinusboussole nicht wohl vom Selbstanfertigen die Rede sein kann.

265 **Leitungsfähigkeit und das Ohm'sche Gesetz.** Um die hieher gehörigen Gesetze bequem erläutern zu können, nimmt man durchaus nur constante Ketten von ziemlicher Stromstärke. Die erforderlichen Drähte werden auf hölzerne Cylinder von 1—1½ Zoll Durchmesser von 2—3 Zoll Länge gewickelt, in deren Oberfläche Schraubengänge von etwa einer Linie Steigung geschnitten sind. Man verwendet hiezu am besten Birnbaumholz, das recht trocken ist, und läßt die fertigen Cylinder noch einige Zeit liegen, weil sonst die Drahtwindungen durch das Schwinden des Holzes bald locker werden. Die Enden der Drähte werden am einfachsten durch Löcher gesteckt, welche senkrecht zur Axe des Cylinders durch diesen gebohrt sind, und hier durch kleine Holzpflöcke befestigt. Für den Kupferdraht, auf den man doch die Vergleichungen bezieht, schmilzt man am besten galvanisch reducirtes Kupfer ein, und läßt ihn durch einen Gürtler oder Goldschmied ausziehen. Die verschiedene Leitungsfähigkeit der Metalle wird am anschaulichsten, wenn man sich zugleich mit dem Kupferdraht auch noch einen Messingdraht, einen Eisendraht und einen Neusilberdraht durch dasselbe Ziehloch ziehen läßt, und von ihnen gleich lange Stücke auf die eben beschriebenen hölzernen Cylinder wickelt. Ebenso läßt man sich einen Kupferdraht von gleicher Länge und doppeltem Durchmesser ziehen. Die Drähte müssen aber überhaupt nur dünn (⅓ Millimeter etwa) und gegen 3 Meter lang sein. Für die meisten Fälle wird man sich damit begnügen können, die Einwirkung auf die Tangentenboussole zu zeigen, wenn diese Drähte nacheinander eingeschaltet werden.

Will man sich nicht damit begnügen, im Allgemeinen an der Tangentenboussole die verschiedene Stromstärke zu zeigen, je nach dem der eine oder der andere Draht eingeschaltet wird, so muß zuerst der Widerstand des Elementes einschließlich der Boussole und deren Zuleitung dadurch bestimmt werden, daß man zuerst nur die Boussole in den Strom einschaltet, dann von dem Kupferdrahte nach und nach 1, 2, 3 ꝛc. Meter, und aus den Tangenten der jedesmaligen Ablenkung nach dem Ohm'schen Gesetze den Widerstand für das Element und die Boussole berechnet, indem man jede Beobachtung mit jener ohne besondere Drahteinschaltung combinirt*). Allein ein solches Verfahren ist für den Unterricht wohl meistens sehr umständlich. Viel einfacher lassen sich diese Gesetze durch den Rheostat zeigen.

Der Rheostat. Der Rheostat ist eine Vorrichtung, wodurch man 266
beliebige aber immer genau sich an dem Apparate selbst messende Längen desselben Drahtes in den Strom einschalten kann, ohne deswegen denselben unterbrechen zu müssen. Man hat dafür mancherlei Vorrichtungen erdacht, von denen hier nur die von Bunsen erwähnt werden soll, um an ihr dann den Gebrauch jedes ähnlichen Instruments zu erläutern.

Der Rheostat von Bunsen besteht aus einem hölzernen Cylinder von etwa vier Zoll Durchmesser und einem Fuß Länge, auf welchen in etwa 1—1½ Linien weite Schraubengänge Messingdraht oder Neusilberdraht von ½—1 Millimeter Dicke aufgewickelt ist. Der Cylinder ist mittelst einer Kurbel an einer eisernen Axe drehbar, um welche ein Draht geschlungen ist, der mit der Elektricitätsquelle verbunden wird; mit der Axe ist der Anfang des Messingdrahtes ebenfalls verbunden. Aus dem Messingdraht wird der Strom durch ein Stückchen Messing abgeleitet, welches in die Schraubengänge paßt und stets auf dem Messingdrahte schleift. Wird nun der Cylinder gedreht, so verschiebt sich diese Ableitung auf den verschiedenen Windungen desselben, so daß deren mehr oder weniger eingeschaltet werden können.

Fig. 446 u. 447 (a.f.S.) zeigen einen solchen Apparat in ¹⁄₇ der natürlichen Größe, wobei aber die Schraubengänge der Deutlichkeit wegen um das vierfache zu groß gezeichnet sind. Der Strom wird z. B. durch die Klemme *f* eingeleitet, geht von dieser in die eiserne Axe des Apparats und aus dieser bei *b* in den Anfang des Drahtes. Aus dem Drahte tritt er in das federnde Messingstück, welches an der mit einer Klemme versehenen Stange *dc* verschiebbar ist und mit dem einen Ende auf dem Drahte liegt, während das andere Ende auf einer Skale die Anzahl der Windungen angibt, welche zwischen *b* und diesem Läufer liegen. Die Verschiebung

*) Combinirt man sie unter sich, so erhält man immer größere Zahlen für den Widerstand des Elements, je größer die eingeschalteten Drathmengen sind.

des Läufers wird durch ein Stückchen Holz bewirkt, welches sich zwischen

Fig. 446.

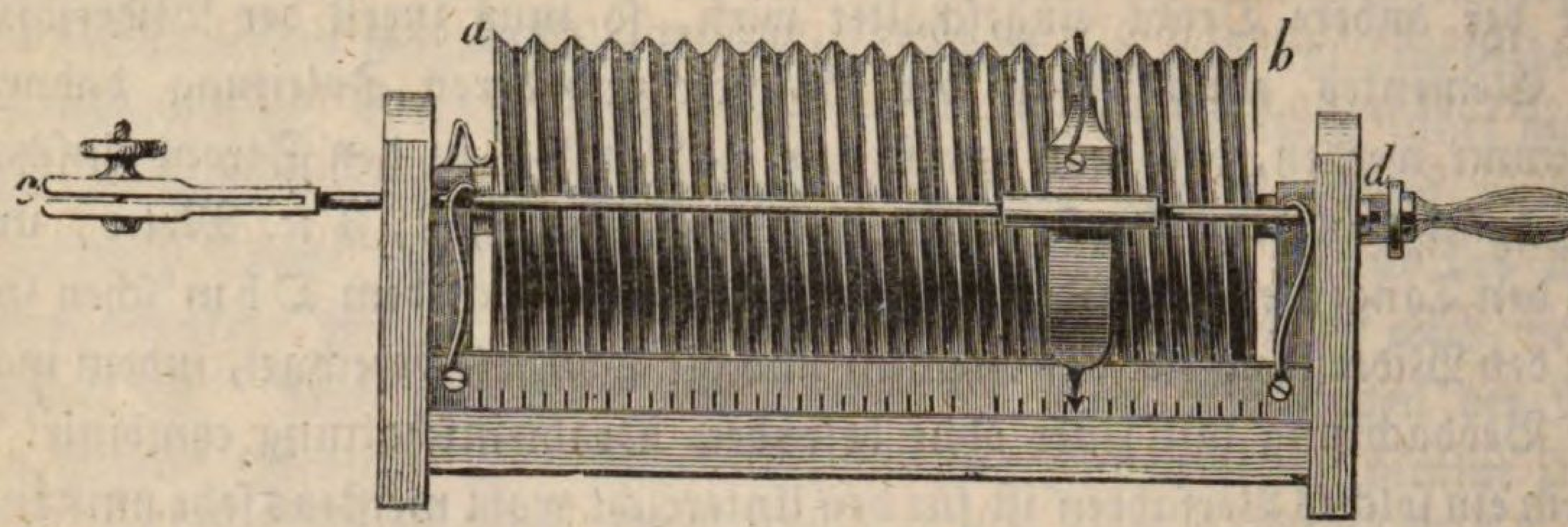
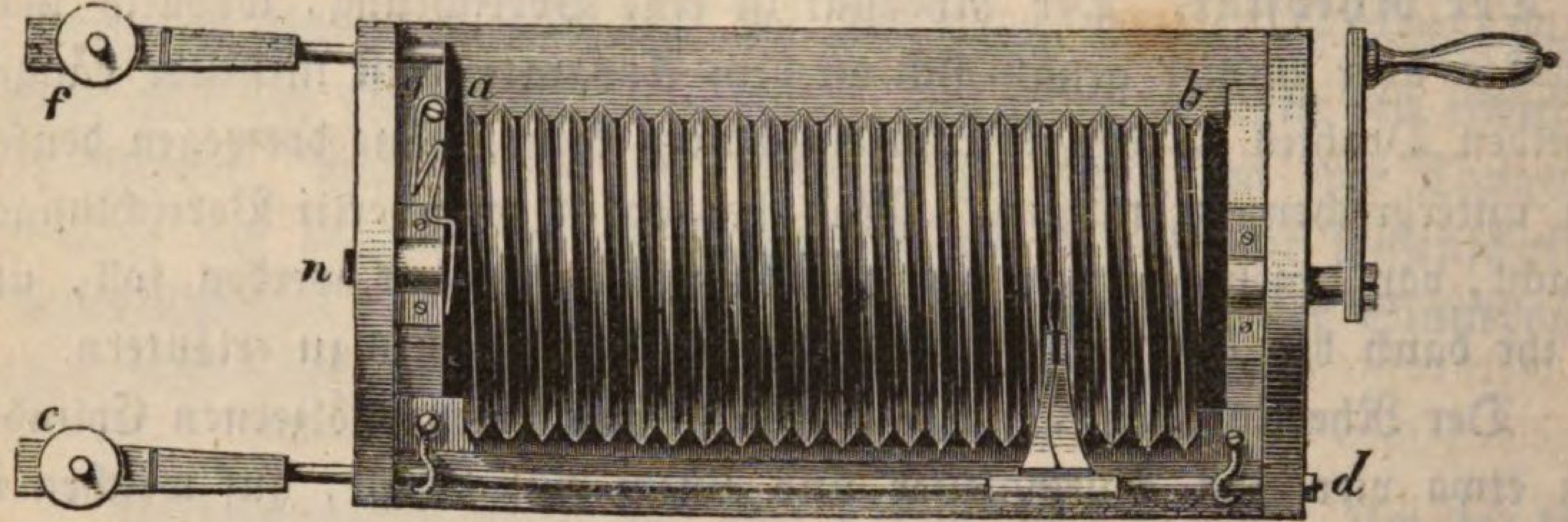
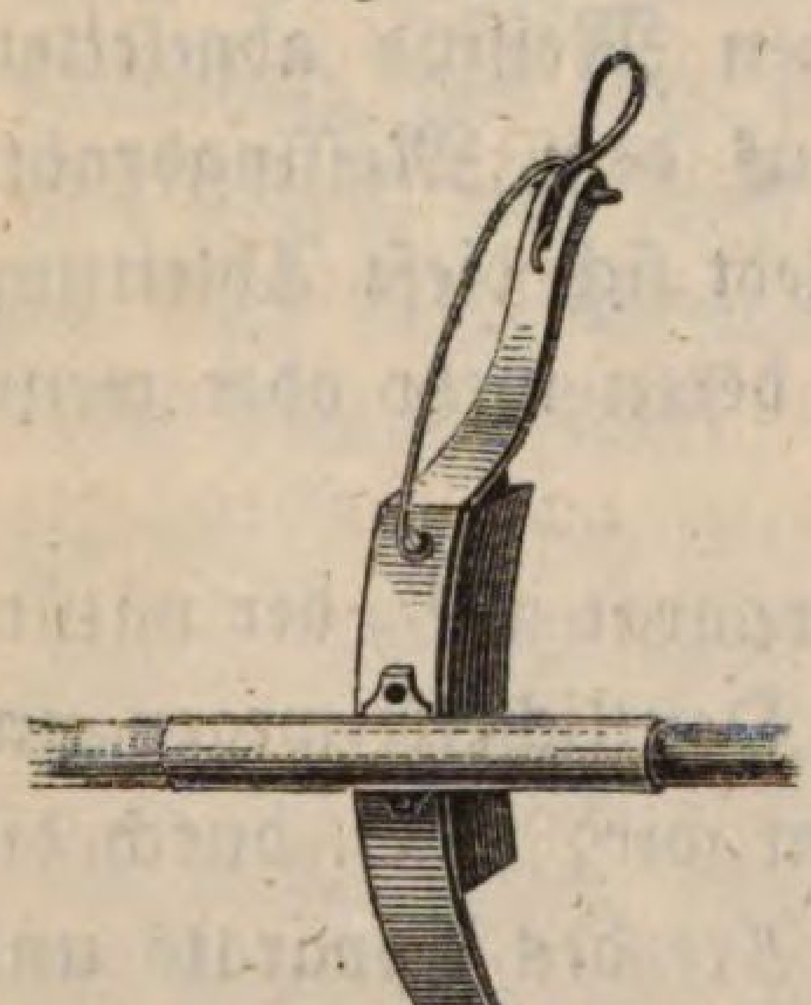


Fig. 447.



seiner Mitte und der hölzernen Walze befindet und 2—3 Schraubengänge enthält, welche in jene der Walze passen. Fig. 448 zeigt diesen Theil sammt dem Holze. Die Stange $c\ d$ selbst ist in dem hölzernen Gestelle etwas beweglich und wird durch zwei Drahtfedern gegen die Walze gedrückt, ebenso ist die mit der Stange verschiebbare Hülse des Läufers federnd, und zu dem Ende aufgeschnitten; durch diese Stange tritt der Strom bei c aus. Die ursprüngliche Bestimmung des Rheostats ist die, durch ihn einen Strom stets auf der gleichen Stärke erhalten zu können, wenn sich auch der sonst einzuschaltende Widerstand oder die Kraft des Elementes ändert. Wie dieses erreicht wird, ergibt sich aus der Beschreibung des Apparates von selbst.

Fig. 448.



Man kann aber auch mittelst des Rheostats jeden andern eingeschalteten Widerstand in Drahtlängen von der Beschaffenheit des auf ihm befindlichen Drahtes ausdrücken, indem man den Index des Rheostats auf 0 stellt, den Widerstand einschaltet, die Abweichung der Tangentenboussole beobachtet, den Widerstand wieder entfernt und dann durch Drehen des Rheostats so viel von seinem Drahte einschaltet, bis die Boussole wieder

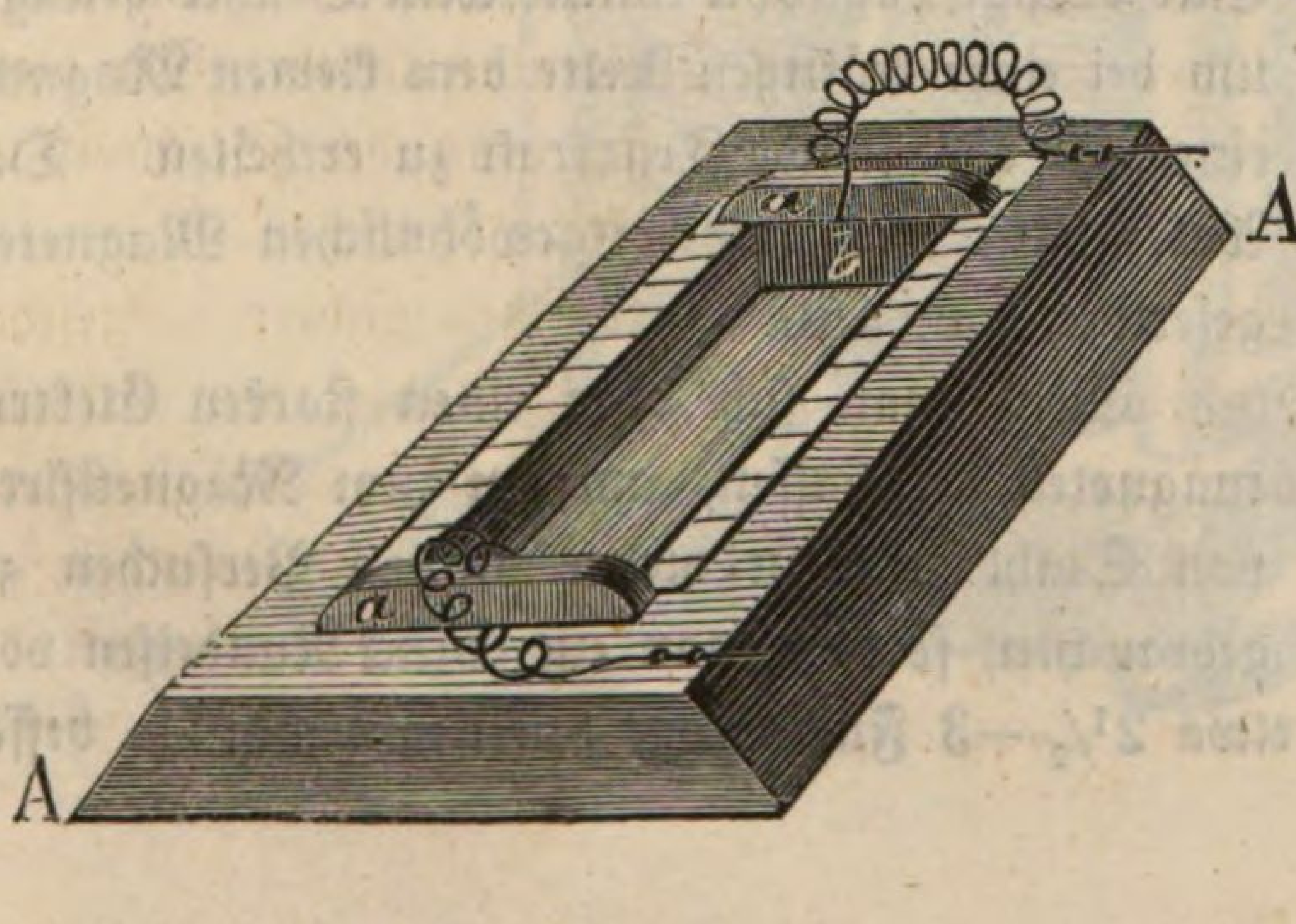
die gleiche Abweichung zeigt. Schaltet man auf diese Art nach einander gleich lange und gleich dicke Drähte von verschiedenem Materiale ein, so sind ihre Leitungsfähigkeiten den eingeschalteten Drähten des Rheostats umgekehrt proportional, und man ist der unsichern Bestimmung des Widerstandes des Elementes und der umständlichen Rechnung überhoben. Ebenso kann man durch Einschaltung ungleich dicker und langer Drähte das Ohm'sche Gesetz nachweisen.

Die Leitungsfähigkeit des guten käuflichen Kupfers hat sich bei diesen Versuchen fast viermal größer gezeigt, als die des besten Messings, da nun aber der Preis des Kupfers nicht um die Hälfte höher ist als der Preis des Messings, so ist es viel wohlfeiler, bei allen Apparaten für galvanische Ströme Kupfer zu verwenden. Man erreicht dabei noch den Vortheil, daß man es mit dünneren Drähten zu thun hat, welche leichter zu handhaben sind, als die Messingdrähte von doppeltem Durchmesser und doch nur gleicher Wirkung. Dünne Drähte nehmen auch beim Aufwickeln derselben weniger Platz ein, gestatten also auf denselben Raum mehr Windungen. Die größere Wohlfeilheit der Kupferdrähte gegen Messingdrähte tritt aber besonders dann hervor, wenn dieselben mit Seide übersponnen werden müssen, da ein Draht von doppeltem Durchmesser auch doppelt so viel Seide erfordert.

Da man jedoch nicht überall Kupferdraht von verschiedener Stärke vorräthig findet, so muß man sich denselben gewöhnlich eigens kommen lassen. Es genügen dabei drei Sorten für beinahe alle Fälle, nämlich Draht von 2—3, von 1 und von etwa $\frac{1}{4}$ Millimeter Durchmesser.

Leitungsfähigkeit tropfbar flüssiger Körper. Wenn es sich nur 267
darum handelt, den großen Widerstand zu zeigen, den die tropfbar flüssigen Körper dem elektrischen Strome entgegensetzen, so darf man nur einen Wasserzersetzungsapparat in einen Strom einschalten, der schon durch die Tangentenboussole geht, wo man dann die bedeutende Abnahme des Stromes auffallend genug bemerken wird, selbst wenn der Apparat ziemlich große Platinplatten hat; für den letztern Fall muß jedoch die Säule nur aus wenigen, aber größern Paaren bestehen.

Fig. 449.



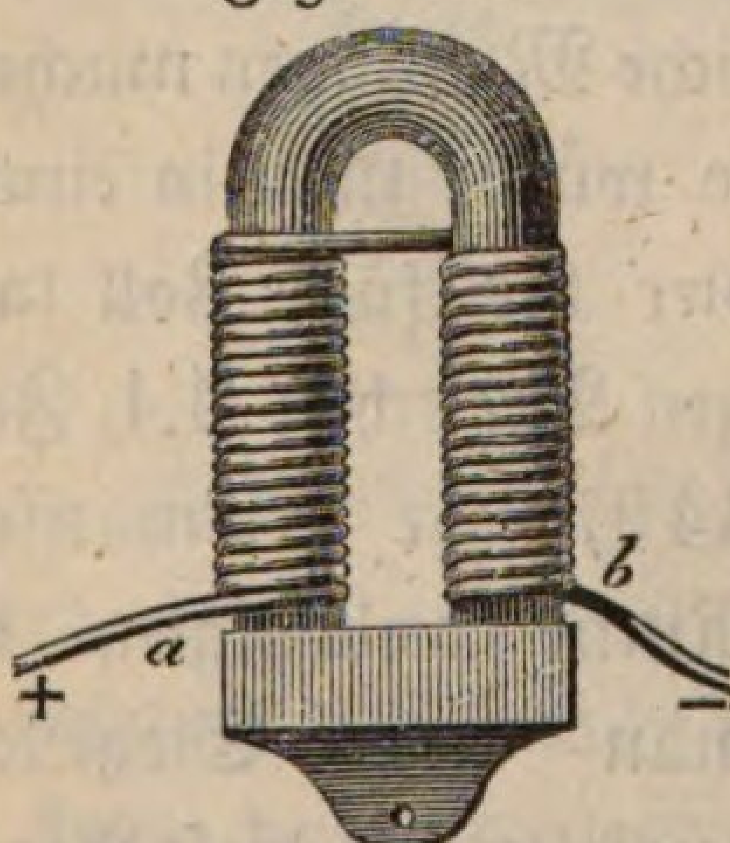
Wollte man wirkliche Messungen machen, so würde man in einem vier bis fünf Zoll langen Brettchen *AA*, Fig. 449, eine prismatische Rinne anbringen, die man mit Siegellack auskittet; in diese Rinne kommen zwei Brettchen *aa*, deren übergreifende

Ränder zugleich als Index auf der neben der Rinne angebrachten Skale dienen. Jedes dieser Brettchen hat ein Platinblech *b*, an das ein spiralig gewundener Kupferdraht gelöthet ist, dessen Ende durch Drahthaften auf das Brettchen befestigt und durch Klemmschrauben in den Strom geschaltet wird. In die Rinne kommt dann die Flüssigkeit, und die Platinplatten werden in beliebige Entfernung von einander gestellt; ist die Abweichung der Boussole beobachtet, so ersetzt man den Apparat mit der Flüssigkeit durch den Draht des Rheostats, bis man wieder dieselbe Stromstärke erhält. Für den Unterricht dürfte aber jedenfalls die Schwächung des Stromes durch den Wasserzersetzungsapparat vollkommen ausreichen.

E. Versuche über den Elektromagnetismus.

268 **Elektromagnete.** Diesen Apparat kann man sich zu verhältnißmäßig sehr geringen Kosten selbst herstellen. Am geeignetsten ist freilich Eisen, welches mit Holzkohlen gefrischt und unter dem Hammer gestreckt wurde, recht weiches und zartes Eisen; allein solches Eisen ist theurer und muß erst rund geschlagen werden. Man läßt daher nur einen geraden oder hufeisenförmigen kleinen, etwa fingerdicken Stab von solchem Eisen machen, ihn mit einem Lehmüberzug im Holzkohlenfeuer ausglühen und in den absterbenden Kohlen allmälig erkalten, um daran das beinahe gänzliche Verschwinden des Magnetismus beim Aufhören des Stromes zu zeigen. Ein solcher Hufeisenmagnet erhält etwa eine ganze Länge von 10—12 Zoll und wird mit dicht anliegenden Windungen von dickem mit Seide oder Wolle umwickeltem Kupferdrahte umgeben, wobei man nur des Aufhängens wegen den Bogen frei läßt, und gleich von einem Schenkel auf den andern übergeht, die Windungen aber so fortsetzt, als hätte man über den Bogen weg in der gleichen Richtung fort gewunden. Eine einzige Lage von liniendickem Drahte genügt, um bei einer kräftigen Kette dem kleinen Magnete eine sehr bedeutende Tragkraft zu ertheilen. Der Anker dazu wird wie bei gewöhnlichen Magneten gefertigt, Fig. 450.

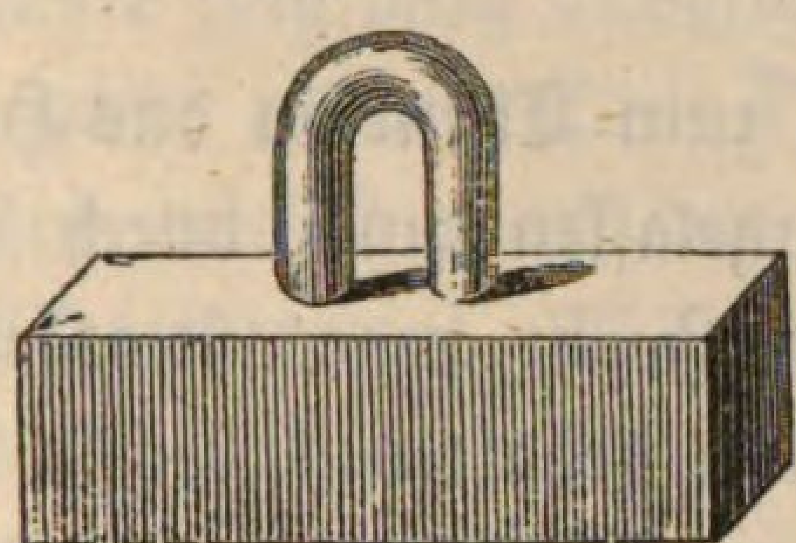
Fig. 450.



Will man sich aber einen starken Elektromagneten verschaffen, um ihn zum Magnetisiren von Stahl und zu vielen andern Versuchen zu gebrauchen, so läßt man ein Stück Rundeisen von 2 Zoll Durchmesser und etwa $2\frac{1}{2}$—3 Fuß Länge hufeisenförmig — besser

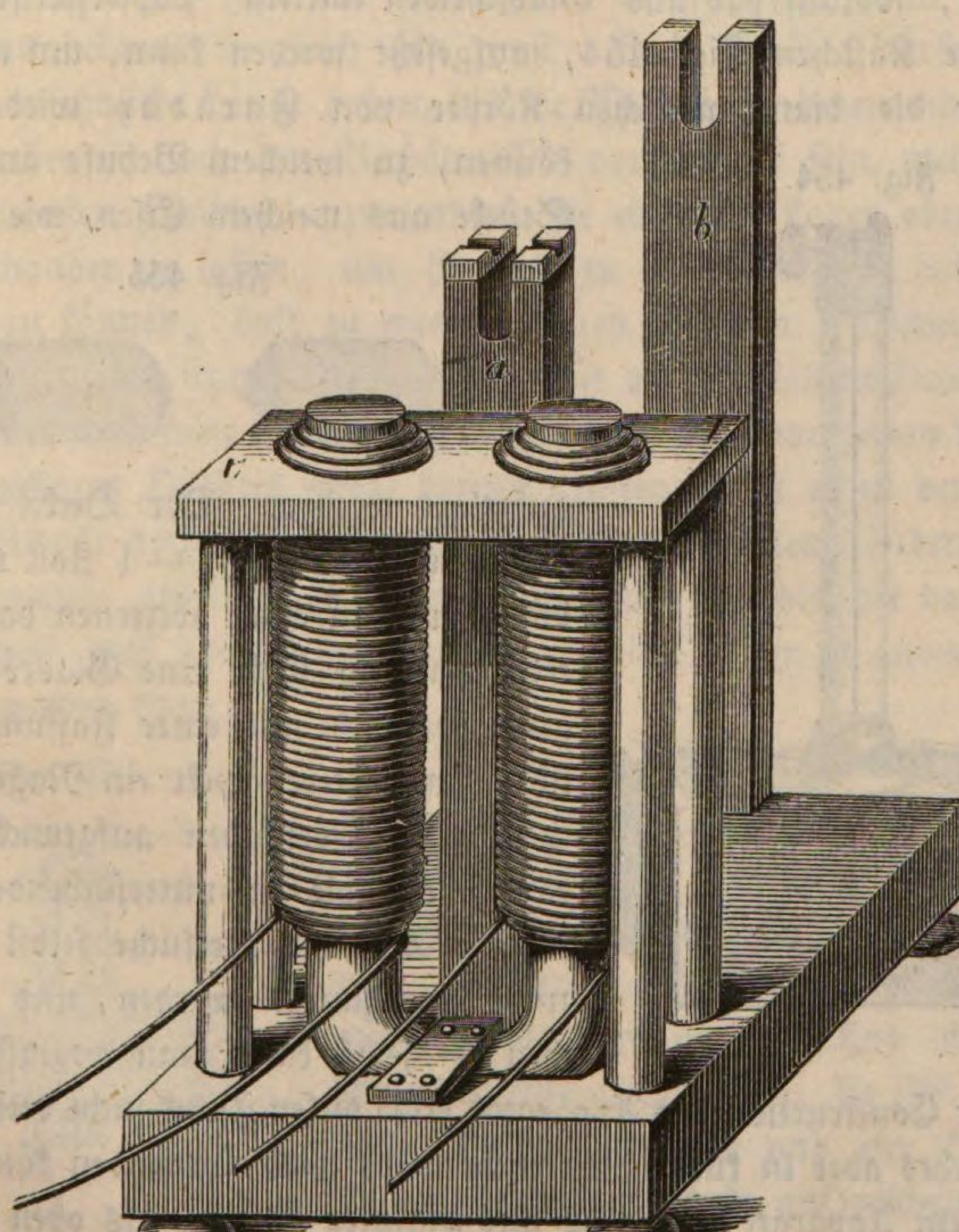
gesagt, stimmgabelförmig — umbiegen, es mit Lehm bestrichen im Holzkohlenfeuer ausglühen, und feilt und schleift die Enden desselben in eine zur Ebene des Hufeisens senkrechte Ebene. Der Anker wird aus einem starken geraden Stücke weichen Eisens gefertigt, erhält eine nach der Richtung von

Fig. 451.



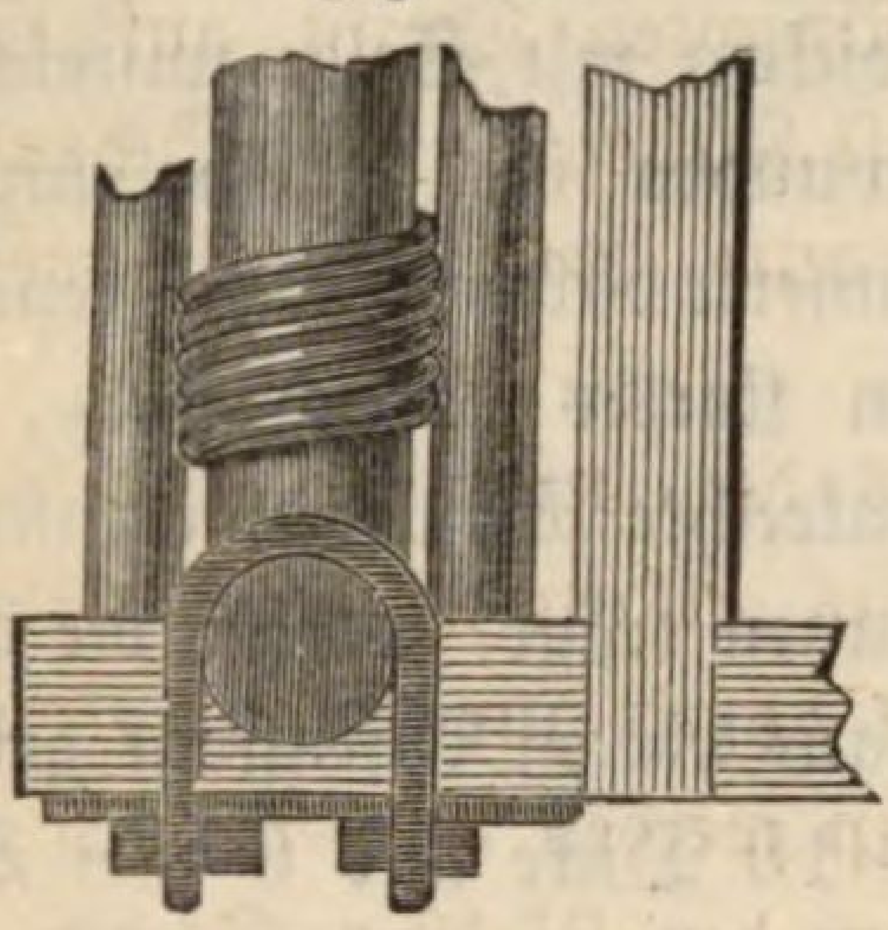
Pol zu Pol, oder der Länge, ebene, der Quere nach aber schwach convexe Fläche, und einen Haken. Fig. 451. Man befestigt das Eisen, nachdem es dicht mit dickem mit Seide umwickeltem Kupferdrahte umwunden ist — eine einzige Lage von etwa 3 Millimeter dickem Drahte genügt auch hier —, auf ein starkes Stück Holz, so wie Fig. 452 zeigt. Auf dem Holze ist eine senkrechte Säule *a*, ebenfalls von Holz, aufgestellt, welche zwei stählerne Pfannen trägt, worein die Axe eines Hebels zu liegen kommt, der ganz einfach aus einem Eisenstabe gefertigt ist, von etwa 30 Millimeter Breite, 8—10 Dicke und 6—8 De=

Fig. 452.



cimeter Länge. Dieser Hebel erhält auf seinem längeren Arme eine Theilung, der die Entfernung seiner Axe von dem Angriffspunkte am Anker zur Einheit dient, wobei übrigens die Winkelverhältnisse zwischen der Axe und den Angriffspunkten unberücksichtigt bleiben. Als Läufer nimmt man ein Gewicht von 25 — 50 Pfd. Die Säule *b* dient dazu den Hebel zu unterstützen, wenn der Anker losreißt.

Fig. 453.



Der Magnet ist zum Theile in das Holz des Grundbrettes eingelassen und durch ein starkes, unterhalb seiner Form angepaßtes Eisen und starke Holzschrauben gehalten.

Wollte man den Magneten für sehr starke Ströme also auf eine Tragkraft von mehrern Centnern brauchen, so wird derselbe befestigt, wie Fig. 453 im Durchschnitte zeigt.

Die Pole des Magnets ragen über ein kleines auf vier Säulchen stehendes Tischchen *t t'* heraus, worauf das aus Glasscheiben mittelst Papierstreifen zusammengeleimte Kästchen, Fig. 454, aufgesetzt werden kann, um einige Versuche über die diamagnetischen Körper von Faraday wiederholen zu können, zu welchem Behufe auf die Pole Stücke aus weichem Eisen, wie Fig. 455,

Fig. 454.

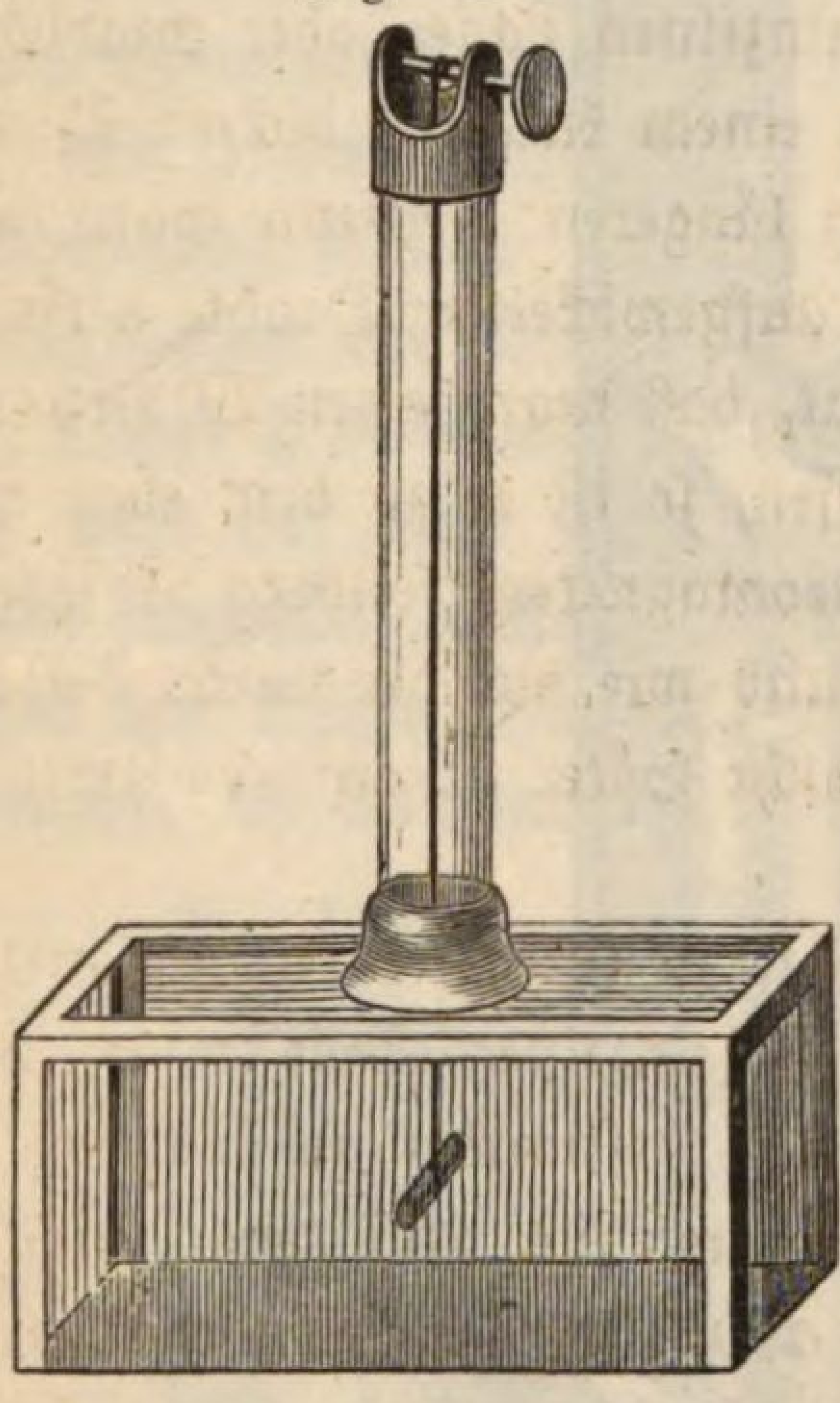


Fig. 455.



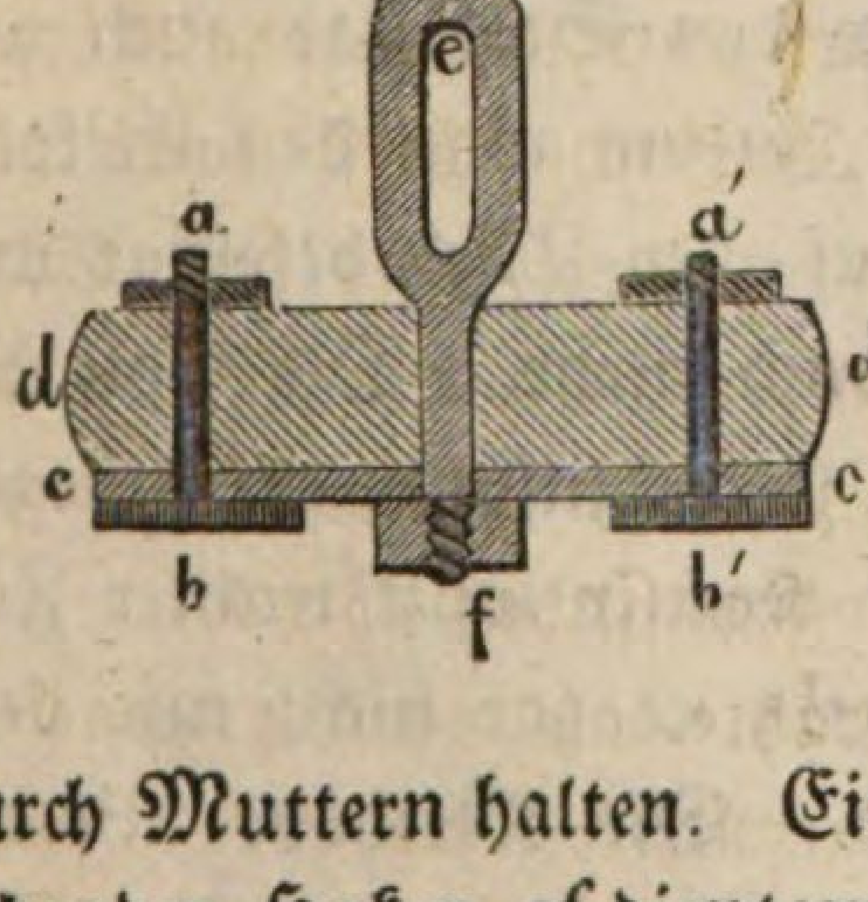
aufgelegt werden. Der Deckel des Glaskästchens ist etwa $^3/_4$ — 1 Zoll weit durchbohrt, und in einer hölzernen darauf gekitteten Fassung steckt eine Glasröhre, welche auch oberhalb mit einer Fassung versehen ist. In letzterer steckt ein Nagel, an welchem ein Seidenfaden aufgewickelt werden kann, der die zu untersuchenden Körper trägt. Auf die Versuche selbst kann hier nicht eingegangen werden, und das Tischchen *tt'* selbst kann man weglassen, wenn man bei der Construction des Apparates etwa diesen Zweck nicht berücksichtigen wollte, welches aber in kurzer Zeit nicht mehr wird stattfinden können.

In dem Apparate Fig. 452 sind dünnere Drähte, als oben angegeben worden, in mehreren Lagen um das Hufeisen gewickelt und ihre Enden frei gelassen, damit man sie auch so verbinden könne, daß beide Pole gleich-

namig werden. Im Allgemeinen ist es aber vortheilhafter, das gleiche Gewicht Kupferdraht als dickern Draht anzuwenden, und also verhältnißmäßig weniger Windungen, z. B. statt 3—4 Lagen nur eine Lage, zu machen, weil man mit derselben Zahl der Elemente dann stärkere Ströme erhält, und auch die Umwicklung mit Seide weniger kostet. Man muß nur die Drähte sorgfältig ausglühen, sonst hat man freilich beim Aufwickeln solcher, die mehr als eine Linie Durchmesser haben, mancherlei Schwierigkeiten. Am besten wickelt man den für jeden Schenkel bestimmten Draht auf eine Hülse, wie in §. 275 erklärt wird, und steckt diese Hülsen auf die Schenkel des Hufeisens; man kann dann diese Spiralen auch sonst brauchen, ohne den Eisenkern.

Kennt man übrigens den Widerstand eines der anzuwendenden Elemente, und kennt man auch Länge und Dicke des aufgewickelten Drahtes, so läßt sich leicht berechnen, ob man die Elemente einzeln zur Säule anordnen müsse, oder ob sie hiebei zu 2, 3 rc. verbunden werden müssen, oder ob sie als ein einziges Element aufzustellen seien, um den stärksten Strom zu geben, da für diesen Fall der Widerstand in der Kette jenem des Schließungsbogens bekanntlich gleich sein muß. Dicke Drähte dürfen übrigens schon eine ansehnliche Länge haben, bis ihr Widerstand bedeutend wird, und es kann daher je nach den Verhältnissen vortheilhaft sein, mehrere Lagen eines liniendicken Drahtes anzuwenden, die einzelnen Lagen aber unabhängig von einander zu lassen, um sie bald zu einem kürzern, dickern Draht verbinden zu können, bald zu einem einzigen längeren. Wenn man auch bei der Construction irgend eines solchen, mit aufgewickeltem Drahte versehenen Apparates noch keine Vorstellung davon hat, daß man je den Widerstand des aufgewickelten Drahtes werde kennen müssen, so ist es zu dem eben angegebenen Zwecke doch gut, nicht nur bei Elektromagneten, sondern bei jedem solchen Apparate aufzuschreiben, wie lang und wie dick der daran befindliche Draht ist, weil dadurch der Apparat vielleicht später zu anderen Zwecken brauchbar werden kann.

Fig. 456.

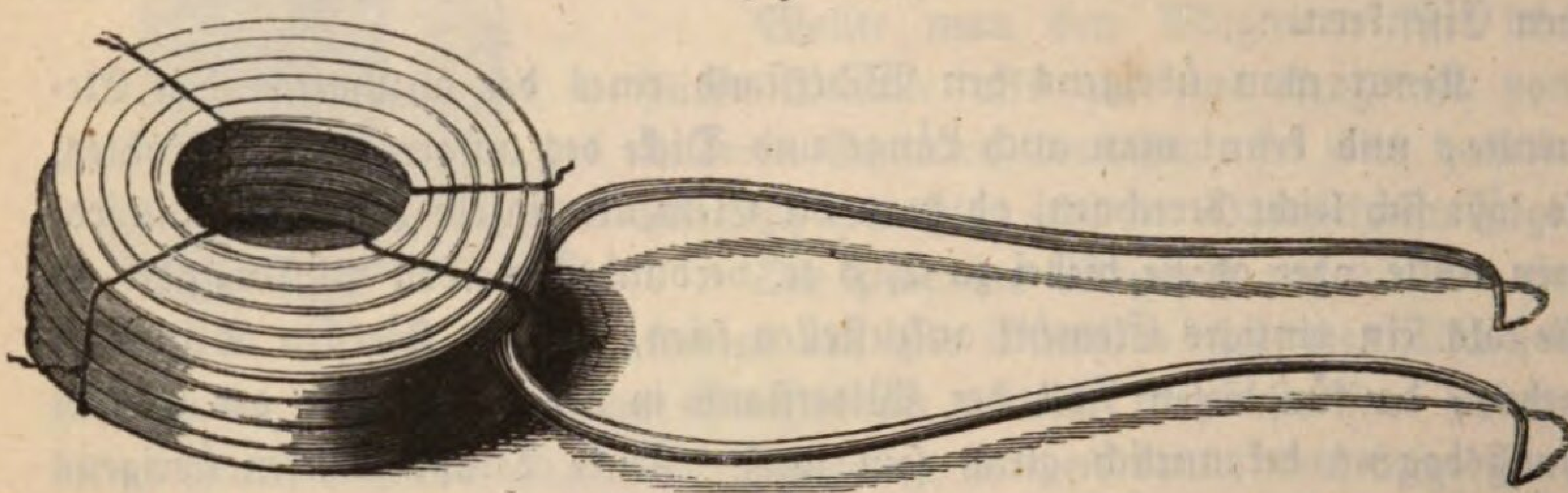


Wollte man zu einem Elektromagneten einen Anker für die einzelnen Pole haben, um auch ihre Tragkraft bestimmen zu können, so läßt sich ein solcher wie Fig. 456, zeigt, herstellen. *a b* und *a' b'* sind Schrauben, deren runde Köpfe eben gerichtet sind und auf die Pole des Magnets passen; sie sind durch eine dicke Messingplatte *cc* und ein Stück weißbuchenes Holz *dd* gesteckt, auf welchem letztern sie durch Muttern halten. Ein messingener durch das Holz und die Messingplatte gehender Haken *ef* dient zum Angriff des Hebels, wie beim Anker in Fig. 451.

Eine nähere Auseinandersetzung der in Bezug auf Tragkraft dem Hufeisen weit vorgehenden Constructionen von Elektromagneten, welche Joule und Radford angegeben haben, kann hier um so eher umgangen werden, da ihre Anfertigung andere Mittel erfordert, als jene sind, auf welche hier Rücksicht genommen wird.

269 **Magnetisiren von hartem Stahle.** Um harten Stahl durch den elektrischen Strom dauernd magnetisch zu machen, windet man 7—8 Meter 3 Millimeter dicken mit Seide umsponnenen Kupferdraht zu einer Rolle, wie Fig. 457. Die innere Weite richtet sich nach der Dicke des zu magnetisirenden Stahles, die Axenlänge der Drahtrolle soll 3 Centimeter nicht überschreiten, wenn man gehörige Wirkung erlangen will. Man leitet durch die Rolle einen sehr kräftigen Strom — von 40 □Zoll Platinblech in Grove'scher Kette —, nachdem man den Stahlstab vorher in die Rolle gelegt hat, und führt dann letztern in der Rolle 6—20mal hin und her. Man hört wieder in der Mitte auf, so aber, daß jede Hälfte des Stabes gleich vielmal durch die Rolle ging (ähnlich wie, wenn man beim Magnetisiren mit dem Doppelstrich den zu magnetisirenden Stab bewegte) und öffnet die Kette. Ist der Stab hufeisenförmig, so legt man ihm den Anker vor und schiebt diesen zum Herausnehmen des Stabes erst ab, wenn die Kette geöffnet ist.

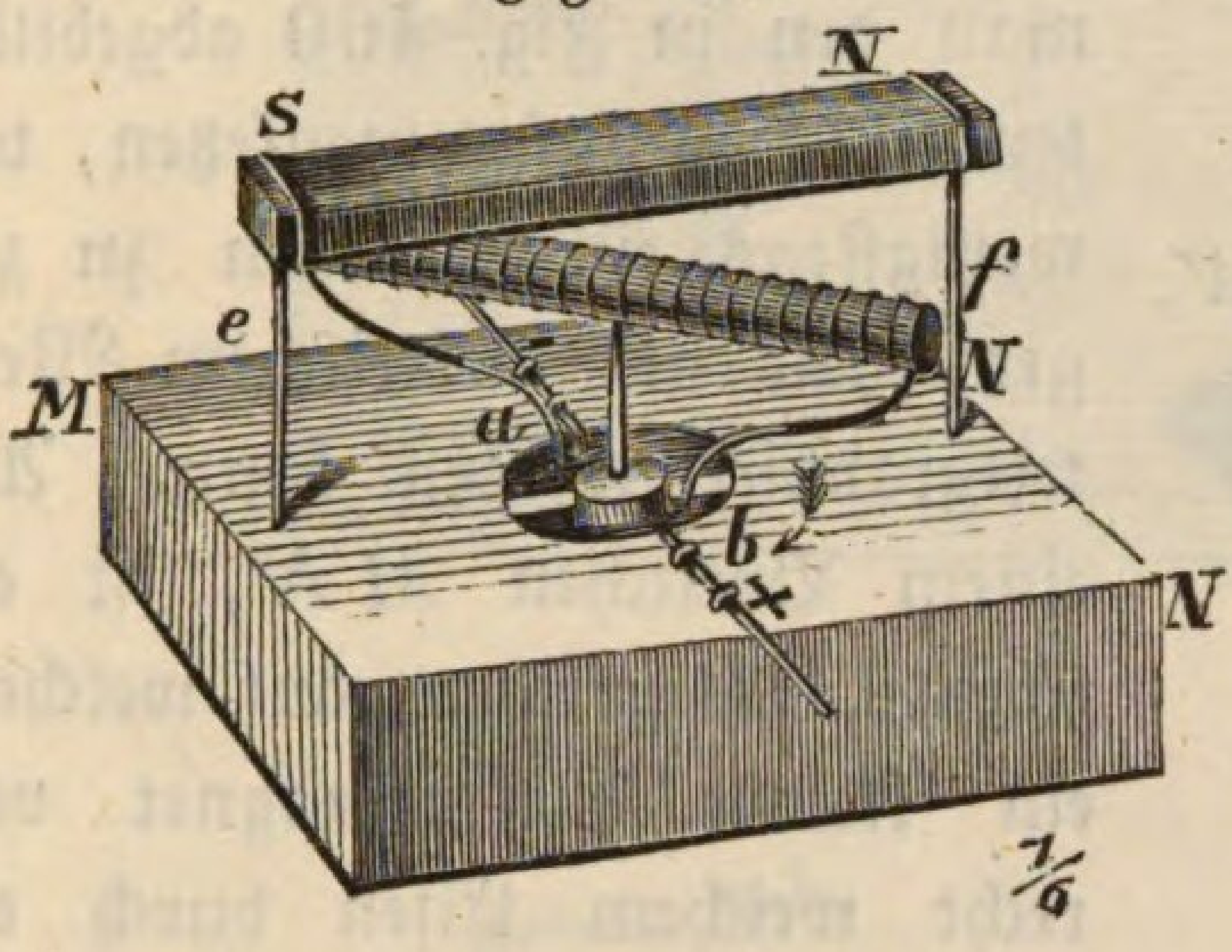
Fig. 457.



Wenn man nicht über sehr kräftige Ströme zu gebieten hat, so ist diese Methode nicht vortheilhaft, wenn sie gleich weniger mühsam ist, man erreicht nämlich viel mehr, wenn man die gleiche Drahtmenge und den gleichen Strom verwendet, um ein hufeisenförmiges Stück Eisen von 4—5 Pfd. magnetisch zu machen, und mit diesem den Stahlstab auch nur nach der Methode des einfachen Striches streicht, indem man den Elektromagneten mit einer hölzernen Schraubzwinge auf den Tisch befestigt und den Stahlstab bewegt. Der Doppelstrich leistet noch mehr. Die Pole des Elektromagneten müssen übrigens hiebei etwas nahe zusammen gebogen sein, wenn man den Doppelstrich anwenden will, weil er sonst leichter Folgepunkte erzeugt. Bei sehr kräftigem Strome geht es gar nicht mit dem Doppelstriche, da Folgepunkte unvermeidlich sind. Die Methode mit der Rolle steht dem Elektromagneten um so mehr nach, je härter der Stab ist.

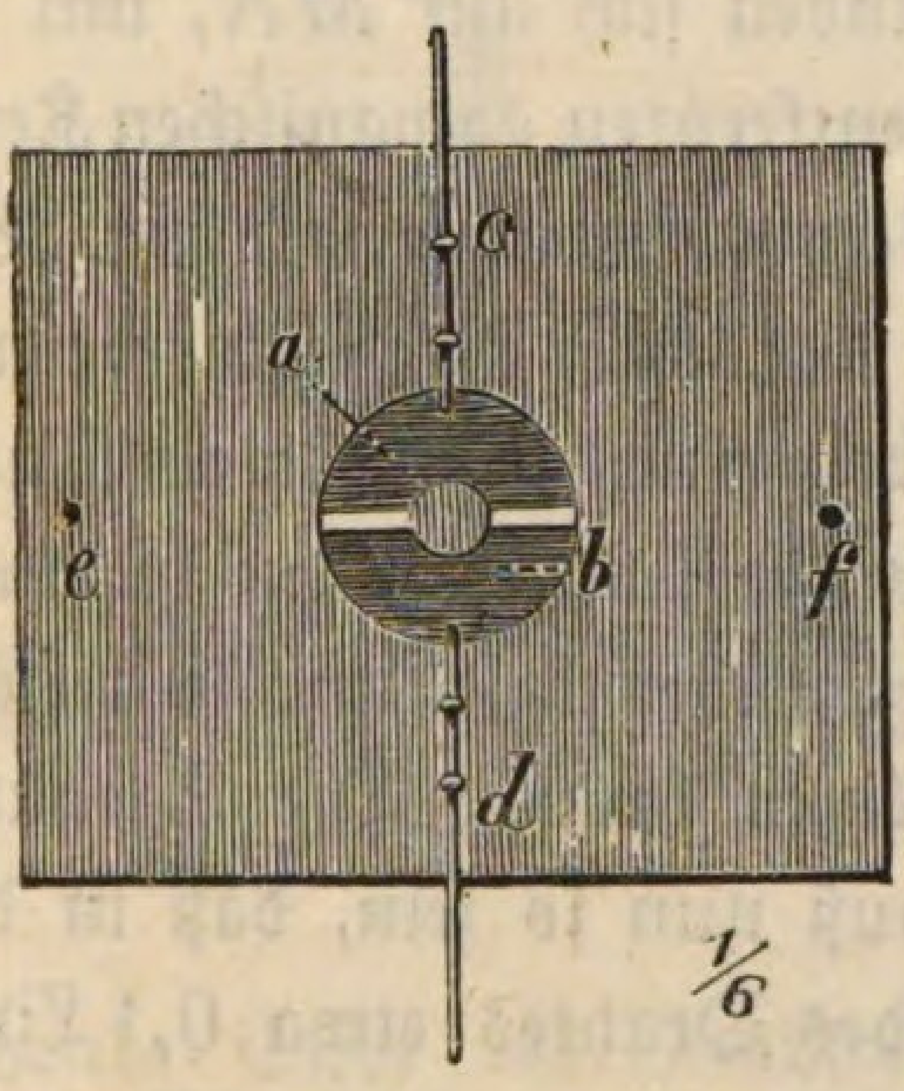
Allein härtere Stäbe behalten auch nach oft wiederholtem Abreißen des Ankers einen viel stärkern Magnetismus als weichere — blau angelassene, was besonders für deren Anwendung bei Magneteelektrisirmaschinen wichtig ist, und dieses ist ja doch beinahe die einzige Anwendung, die man von denselben macht; denn nur um Gewichte an sie zu hängen, wird Niemand mehr große Magnete machen.

Fig. 458.



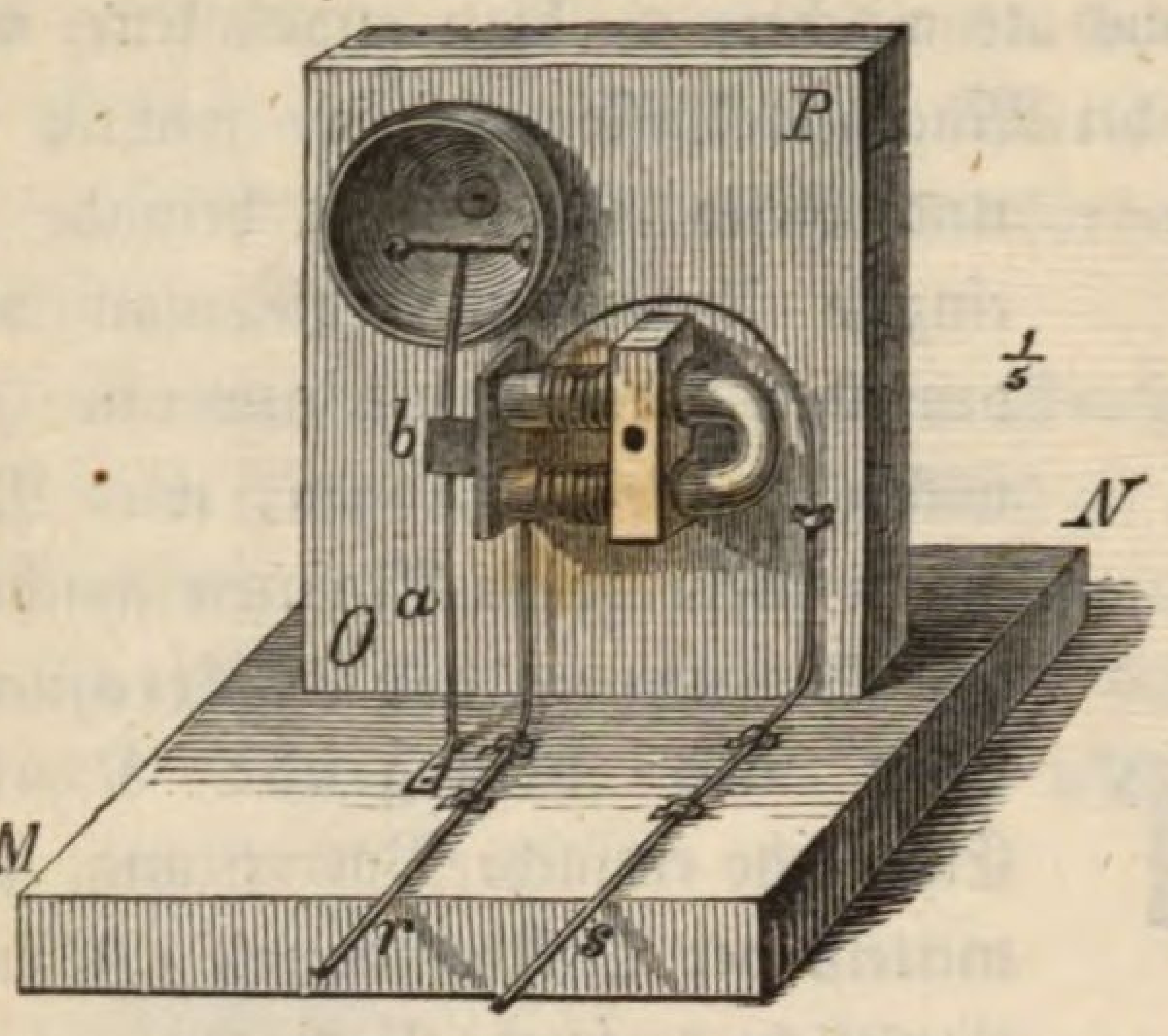
Benutzung der Elektromagnete als bewegende Kraft. 270 Eine sehr einfache Vorrichtung, um mittelst der Elektromagnete eine continuirliche drehende Bewegung zu erhalten, zeigt Fig. 458. In ein Brettchen *MN*, welches Fig. 459 im Grundrisse zeigt, ist eine kreisförmige Rinne *ab* gedreht, die durch eine etwa um eine bis zwei Linien niedrige Scheidewand in zwei gleiche Theile getheilt ist. Diese Scheidewand ist aus einer isolirenden Substanz und etwa 2 Linien breit. Im Mittelpunkte der Rinne, auf dem stehengebliebenen Zapfen, wird eine Spitze aus Stahldraht befestigt (eingeschlagen, indem man sie mit dem Feilkloben faßt, und auf diesen schlägt). Ein rundes Stück weiches Eisen wird in der Mitte beinahe ganz durchgebohrt, um es wie eine Magnetnadel auf den Stahlstift zu setzen, damit es sich frei drehen kann; es wird mit übersponnenem Kupferdrahte umwickelt. Da es sich aber hier nicht um die größte Kraft handelt, so genügt es auch, das Eisen mit Seide zu umwickeln, und den Drahtwindungen etwa eine Linie Abstand von einander zu geben. Die zugespitzten Enden des Drahtes werden unterhalb nach der Mitte zurück und dann senkrecht abwärts gebogen, so daß sie in die Rinne reichen, aber nur so tief, um ohne zu streifen über die Scheidewand in der Rinne weggehen zu können. In jede Hälfte der Rinne reicht ein auf das Brettchen befestigter Kupferdraht *c*, *d*, der das darin befindliche Quecksilber mit einer einfachen galvanischen Kette verbindet. Quecksilber wird so viel eingegossen, daß es mit seinem erhabenen Rande höher steht, als die Scheidewand, aber doch sich nicht über diese weg vereinigt. Auf zwei oben in ein Rechteck umgebogenen Drähten *e*, *f* wird in geringer Entfernung über dem kleinen Elektromagneten ein Magnetstab von ungefähr gleicher Länge mit diesem aufgesteckt. Die Wirkungsweise des Apparates darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Fig. 459.



271 **Der elektrische Telegraph.** Wenn man die Mittel nicht hat, um ein gut gearbeitetes Modell eines solchen anzuschaffen, so kann man den in Fig. 460 abgebildeten Apparat zusammensetzen, um wenigstens einigermaßen zu zeigen, wie auf elektrischem Wege telegraphirt werden kann. Auf einem Brettchen *MN*, ist ein zweites *OP* errichtet, auf welchem ein kleiner Elektromagnet von recht weichem Eisen durch ein Querstückchen aus Holz und eine Schraube fest gehalten wird; eine kleine Uhrglocke ist auf demselben Brettchen befestigt; die Enden des Drahtes aber, welcher um den Elektromagneten läuft, befinden sich auf *MN*, um sie durch Klemmschrauben mit jenen, welche von der entfernten galvanischen Kette kommen, zu verbinden, wenn man nicht bleibende Klemmschrauben, wie Fig. 380 auf *MN* zu diesem Zwecke anbringen will. Der auf *MN* befestigte federnde Draht *a* ist oberhalb in die Glocke hinein etwas umgebogen und trägt hier ein Querstück mit zwei Knöpfen, in der Mitte aber ist an ihn ein Plättchen aus weichem Eisen befestigt, welches den Polen des Magnets gegenüber steht, und so gestellt ist, daß es sich ohne Zwang an beide Pole anlegen kann. Die Stellung des Drahtes und die Größe des Querstückes muß nun so sein, daß in der Ruhelage der vom Magnete abgewendete Knopf des Drahtes etwa 0,1 Linie von der Glocke, und das Eisenplättchen etwa 0,5 Linien vom Magnete absteht; ebenso muß der andere Knopf, wenn das Eisenplättchen vom Magnete angezogen ist, noch etwa 0,1 Linien von der Glocke abstehen. Damit der zurückbleibende Magnetismus beim Oeffnen der Kette nicht etwa das Eisenplättchen am Magnete festhalte, darf dieses denselben nicht unmittelbar berühren, man klebt daher ein Streifchen Papier auf dasselbe. Wird nun mittelst der an *r*, *s* angeschraubten Drähte die entfernte Kette von der Hand abwechselnd geöffnet und geschlossen, so wird auch das Eisenplättchen vom Magnete abwechselnd angezogen und durch die Federkraft des Drahtes wieder entfernt und dadurch die Glocke angeschlagen. Man kann schon durch die verschiedenen Unterbrechungen im Läuten eine ziemliche Zahl verabredeter Signale geben.

Fig. 460.



272 **Das Ampere'sche Gestelle.** Dieser unentbehrliche Apparat ist in einfacher und allen Erfordernissen entsprechender Weise in den Fig. 461 und 462 (a. f. S.) dargestellt und ist in dieser Form auch ziemlich leicht herzustellen.

Auf einem zolldicken Brette von hartem Holze, Fig. 461, sind drei

etwas starke Messingbleche $a\ b\ c$ eingelassen, so daß ihr Rand mit dem Brette eben ist; sie sind aber der Länge nach in der Mitte etwas dicker als

Fig 461.

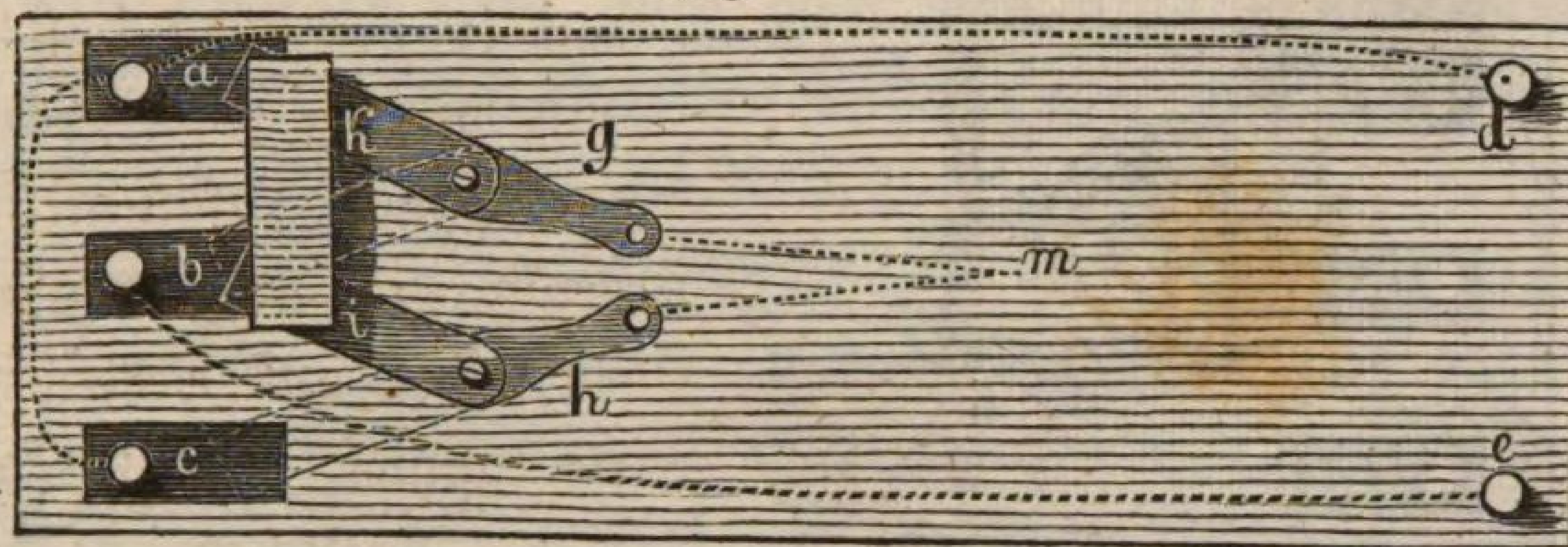
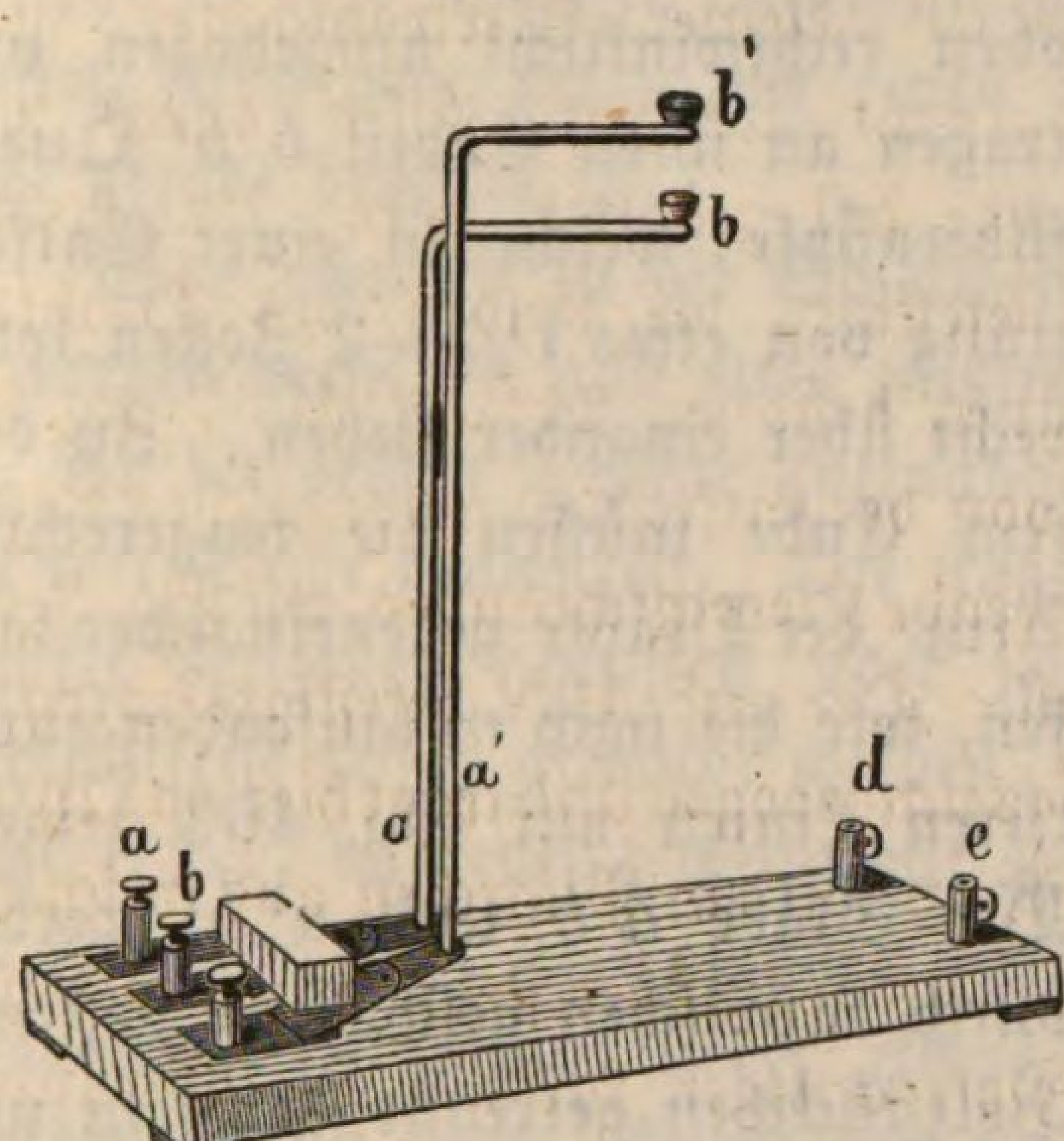


Fig. 462.



am Rande und ihre Mitte steht daher etwas ($^1/_4$ Linie ungefähr) über das Brett hervor. Auf allen dreien sitzen Klemmschrauben, wie Fig. 380, oder sie haben über das Brett hervorstehende angelöthete Drähte; außerdem sind a und c noch durch einen auf die untere Seite des Brettchens eingelassenen dicken Kupferdraht unter sich und mit der Klemmschraube d verbunden. Letztere hat die Oeffnung zum Einstecken des Drahtes von oben und die Schraube von der Seite; auch statt ihr kann das hervorstehende Ende des Drahtes, wenn es im Brette fest gekeilt ist, und eine gemeinschaftliche Klemmschraube, wie Fig. 379, dienen. Das mittlere Messingblech b steht mit der Klemmschraube e in Verbindung. Außer diesen dreien sind noch zwei Bleche $g\,h$ auf dem Brette befestigt, und auf diesen die beiden weiteren $i\,k$; letztere aber sind durch Holzschrauben, welche durch $g\,h$ hindurchgehen, so gehalten, daß sie sich unter den Köpfen derselben drehen lassen und beliebig fest auf $g\,h$ angezogen werden können. k und i sind durch ein Stückchen Holz verbunden, sie sind an das Holz durch Schrauben mit versenkten Köpfen von unten befestigt, lassen sich aber um diese leicht drehen. Es ist gut, wenn das Holz schwer ist, und man kann deswegen in die Mitte desselben Blei gießen. Man sieht wohl, daß man so, wenn a oder c mit dem positiven, b mit dem negativen Pole einer Kette verbunden werden, das Blech g mit dem positiven Pole verbunden hat, wenn die Bleche $i\,k$ die ausgezogene Lage haben; bringt man sie aber in die punktirte Lage, so wird g mit dem negativen und h mit dem positiven verbunden, während d und e stets mit denselben Polen verbunden bleiben; in einer mittleren Lage sind g und h außer Verbindung mit der Kette.

Auf die Enden der Bleche *g h* sind die beiden 3—4 Linien starken Messingdrähte *a b* und *a' b'*, Fig. 464, gesteckt und durch Schrauben

Fig. 463.

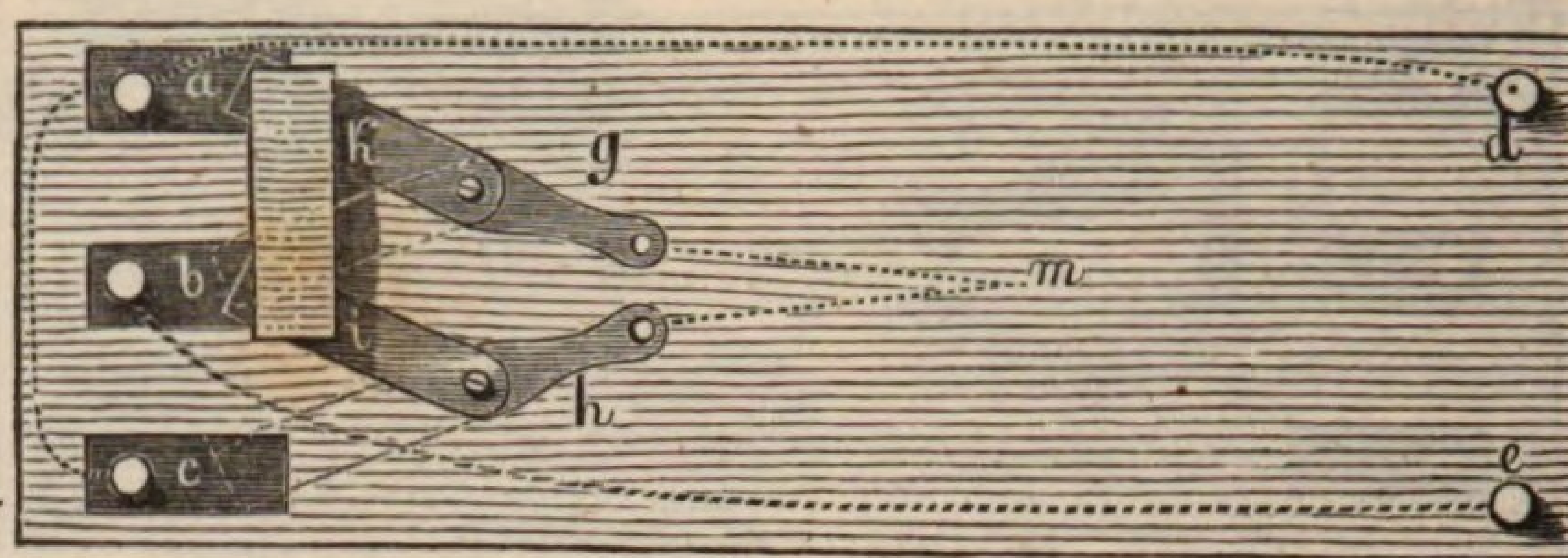
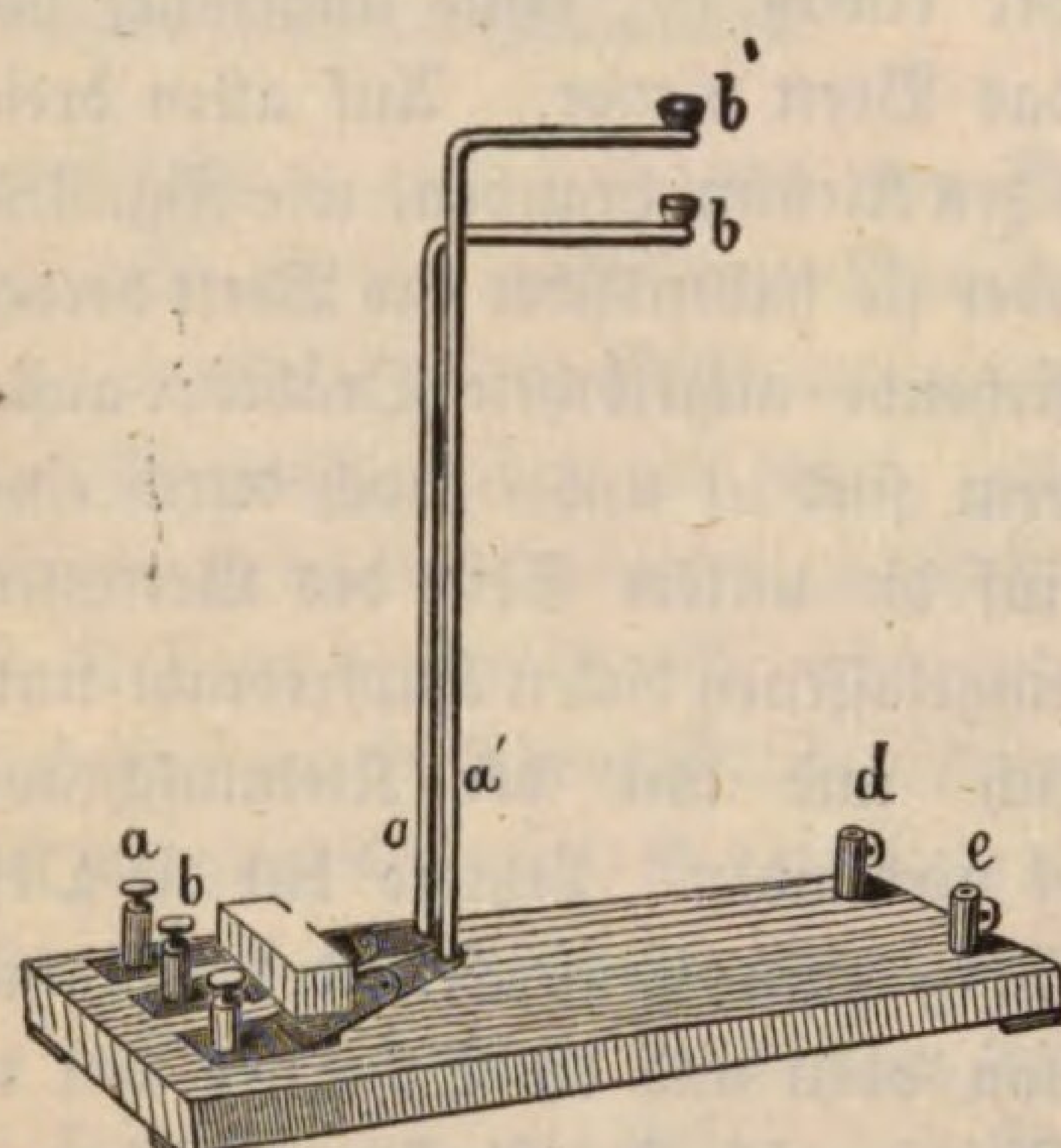


Fig 464.



von unten befestigt; sie sind beide oben rechtwinklicht umgebogen und tragen an ihren Enden *b b'* Quecksilbernäpfe, welche in einer Entfernung von etwa $1\frac{1}{2}$—2 Zollen lothrecht über einander stehen. Zu diesem Ende müssen die wagerechten Arme der Drähte gegeneinander laufen, wie die nach *m* laufenden punktirten Linien auf Fig. 463 zeigen. Die Stäbe *a b* und *a' b'* werden durch dazwischen geschobene, passende Holzstückchen getrennt gehalten und über diese weg mit Seide zusammengebunden, wodurch die Festigkeit bedeutend erhöht wird. Die Quecksilbernäpfe dürfen nur flach sein, und auf den Boden des obern wird ein rund gebröckeltes*) Stückchen eines Uhrenglases mittelst Siegellack aufgekittet. Die Näpfe bestehen aus Messing oder Kupferblech und werden auf die Enden der Drähte vernietet und zum Ueberflusse und sicherer metallischer Verbindung auch mit Zinn verlöthet, wenn man sie nicht gleich hart auflöthen will. Vor dem Gebrauche müssen sie immer innerhalb stellenweise rein gekratzt oder frisch amalgamirt werden.

Es giebt außer dem hier beschriebenen Commutator eine ziemliche Zahl verschiedenartiger Vorrichtungen für denselben Zweck; keine derselben scheint dem Verfasser so übersichtlich, wie die hier dargestellte, ob-

*) Das Bröckeln (Kröseln) des Glases geschieht durch eine flache Drahtzange, indem man nur ganz schmale Stückchen des Glasrandes damit faßt und die Zange dreht. Noch einfacher und sicherer kann man sich der Sprengkohle (§. 256) bedienen. Die letzten Unebenheiten werden auch hier durch eine mit Terpenthinöl befeuchtete Feile weggenommen.

wohl viele derselben ihren Zweck vollständig und bequem erfüllen. Im Allgemeinen ist hier nur zu bemerken, daß Commutatoren ohne Quecksilber immer vorzuziehen sind. Daß man für die Demonstration des Ampere'schen Gesetzes aber auch ohne Commutator auskommen kann, wenn man nur die zu den senkrechten Stäben *a a'* führenden Drähte verwechselt, ist ebenso einleuchtend als unbequem.

Für viele Versuche ist es bequem, einen vom übrigen Ampere'schen Gestelle unabhängigen Commutator zu haben; hiefür darf man nur auf die Bleche *i k*, statt der Säulen *a a'*, Klemmschrauben setzen, wobei dann die Klemmschrauben *d e* und die zu ihnen führenden Drähte überflüssig sind. Bohrt man übrigens unten durch die Stäbe *a a'* Löcher und versieht sie mit seitlichen Klemmschrauben, so kann man das Ampere'sche Gestell selbst gebrauchen wie einen besondern Commutator, obwohl es so nicht gerade bequem ist.

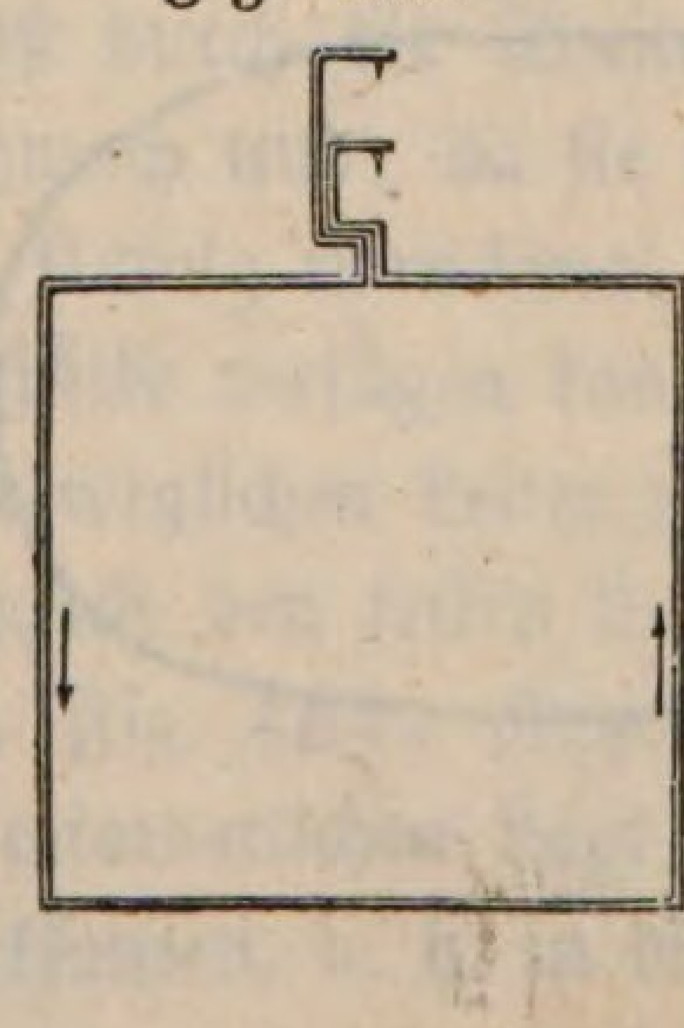
Was nun die in die Schälchen *b b'* einzuhängenden Leiter betrifft, so werden dieselben aus etwa millimeterdickem Kupferdrahte verfertigt und da, wo die beiden Drähte aneinander gebunden werden müssen, der eine gut mit Seide umwickelt. Die stählernen Spitzen derselben werden an das Kupfer verlöthet, müssen aber jedenfalls vor dem Gebrauche mit der Schlichtfeile frisch gemacht werden, da Eisen in Berührung mit Kupfer leicht rostet, namentlich wenn mit Zinn gelöthet wurde, mit Silber weniger. Es ist daher nicht zweckmäßig, diese Spitzen aus ganz feinem Drahte zu nehmen; man nimmt lieber etwas stärkere, von Stricknadeln stammende Drahtstückchen dazu, klopft den Kupferdraht etwas breit, durchbohrt ihn, steckt das zu einem Zapfen dünn gefeilte Ende des Stahldrahtes hindurch, vernietet und verlöthet denselben; gehärtet braucht er nur an der Spitze zu sein. Man muß besonders darauf sehen, daß auch der untere Draht, welcher nur in das Quecksilber taucht, in der Drehungsaxe des ganzen Leiters sich befinde, weil sonst das Quecksilber seiner Bewegung zu vielen Widerstand entgegensetzt.

Die Leiter, Fig. 465 und 466, werden so groß gemacht, als es die

Fig. 465.



Fig. 466.



horizontalen Arme der senkrechten Messingstäbe am Ampere'schen Gestelle erlauben.

Um den Einfluß eines zweiten Stromes zu zeigen, sind Leiter, wie Fig. 467 und 468, vorzuziehen, weil sie für die Einwirkung des Erdstromes

Fig. 467.

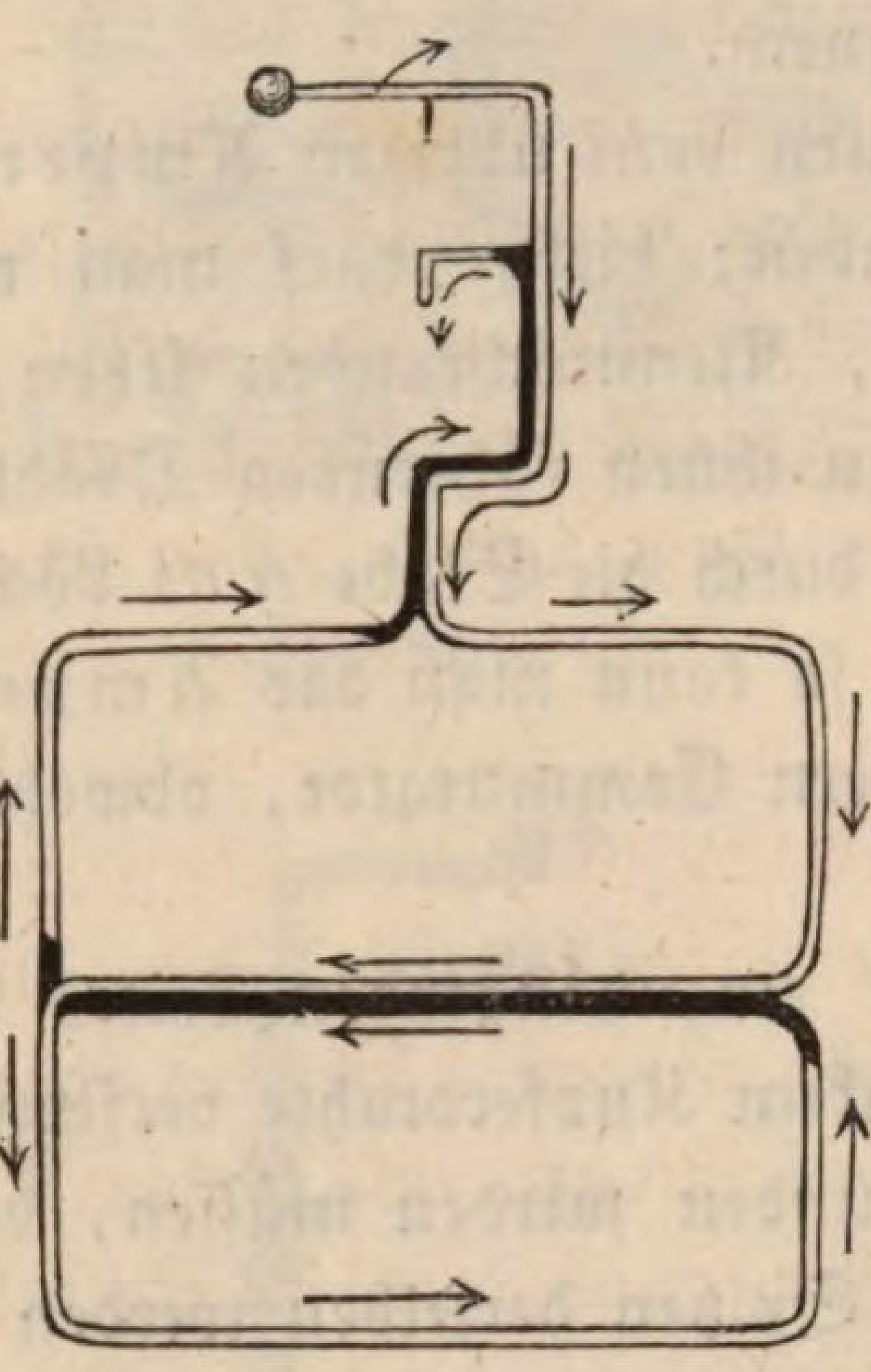
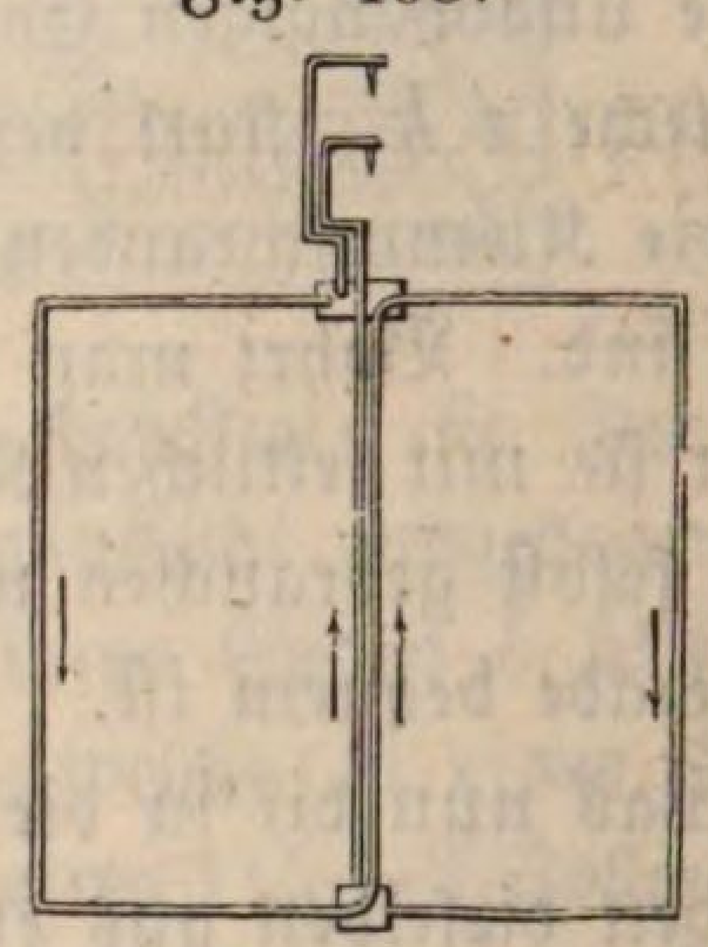


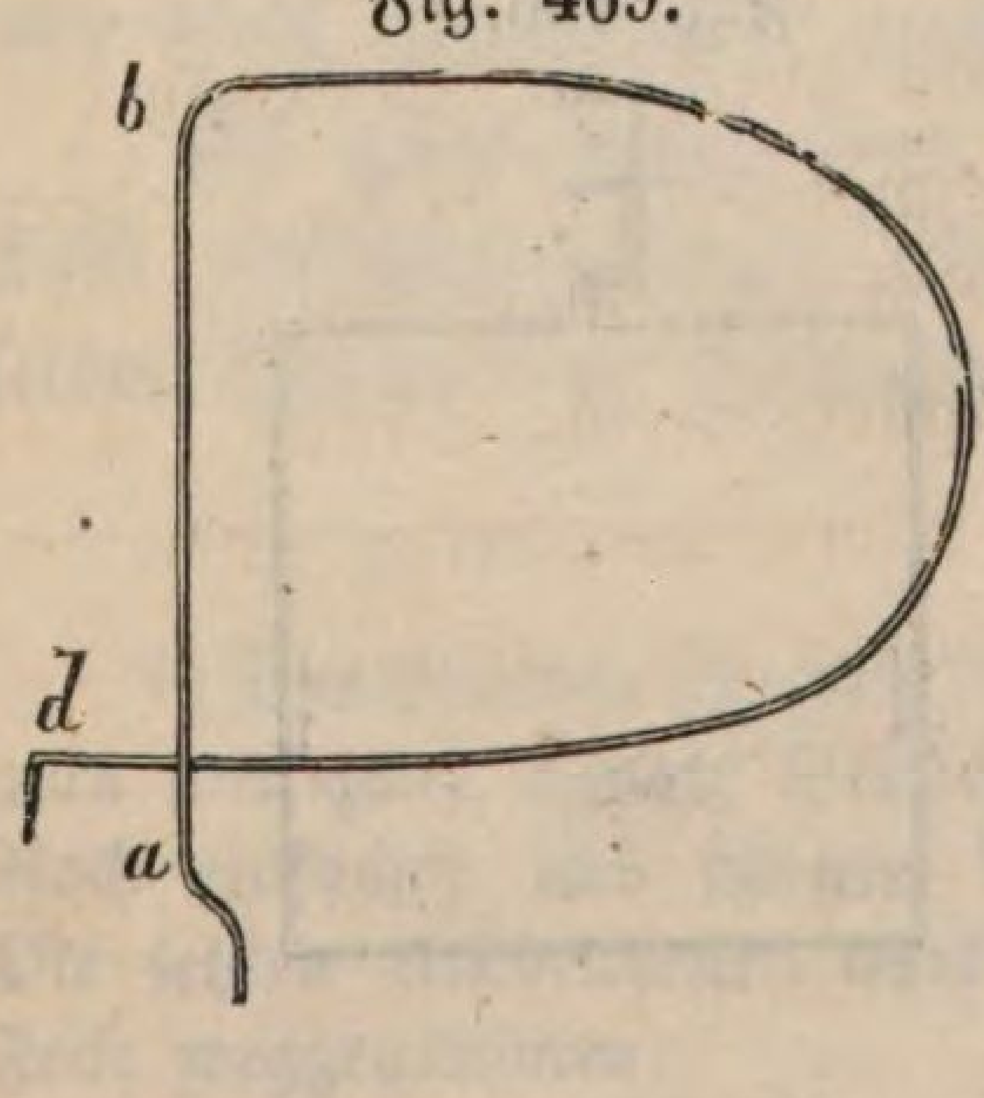
Fig. 468.



astatisch sind; der erstere dient für horizontale, der letztere für vertikale Ströme. Wo die Drähte übereinander weglaufen, wird entweder ein dünnes Korkplättchen dazwischen gelegt, wie bei Fig. 468, oder man umwickelt den einen Draht mit Seide, wie Fig. 467, und bindet dann die Drähte mit Seidenfaden fest zusammen.

Außer den beiden in Fig. 465 und 466 abgebildeten Leitern muß man noch zwei in die Klemmschrauben *d*, *e*, Fig. 463, passende Drähte von der Gestalt wie Fig. 469 haben. Der eine muß so gekrümmt sein, daß das geradlinige Stück *a b* vertikal mitten zwischen den Klemmschrauben *d* und *e*, der Bogen aber rückwärts über das Brett hinaus steht; es dient, um die Anziehung und Abstoßung zwischen den vertikalen Theilen des Leiters, Fig. 466, zu zeigen, da die beiden Stäbe, welche diesen tragen, nicht auf ihn wirken, weil der Strom in beiden eine entgegengesetzte Richtung hat. Man muß jedoch einen ziemlich starken Strom für diesen Versuch verwenden, da er einen langen Weg zurück zu legen hat, und sich theilen muß.

Fig. 469.

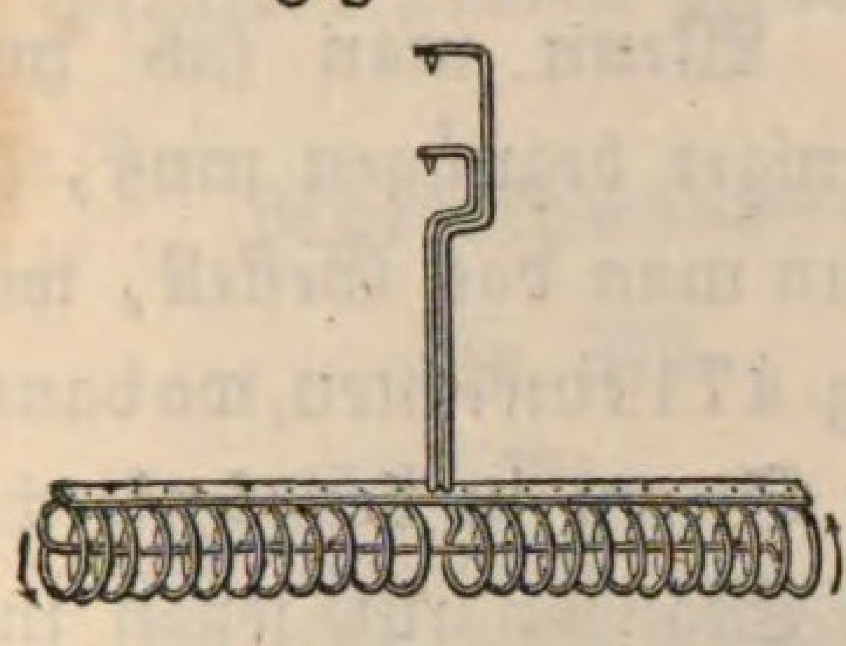


Der zweite, wie Fig. 466 gebogene Draht muß seinen geradlinigten Theil *a b* in horizontaler Richtung haben und so gebogen sein, daß dieser, wenn der Draht in die Klemmschrauben *d e* gesteckt ist, dicht unter dem horizontalen

Theile des Leiters, Fig 465, wegläuft, um die Einwirkung gekreuzter geradlinigter Ströme zu zeigen.

Das Solenoid. Die gewöhnliche Form desselben zeigt Fig. 470.

Fig. 470.



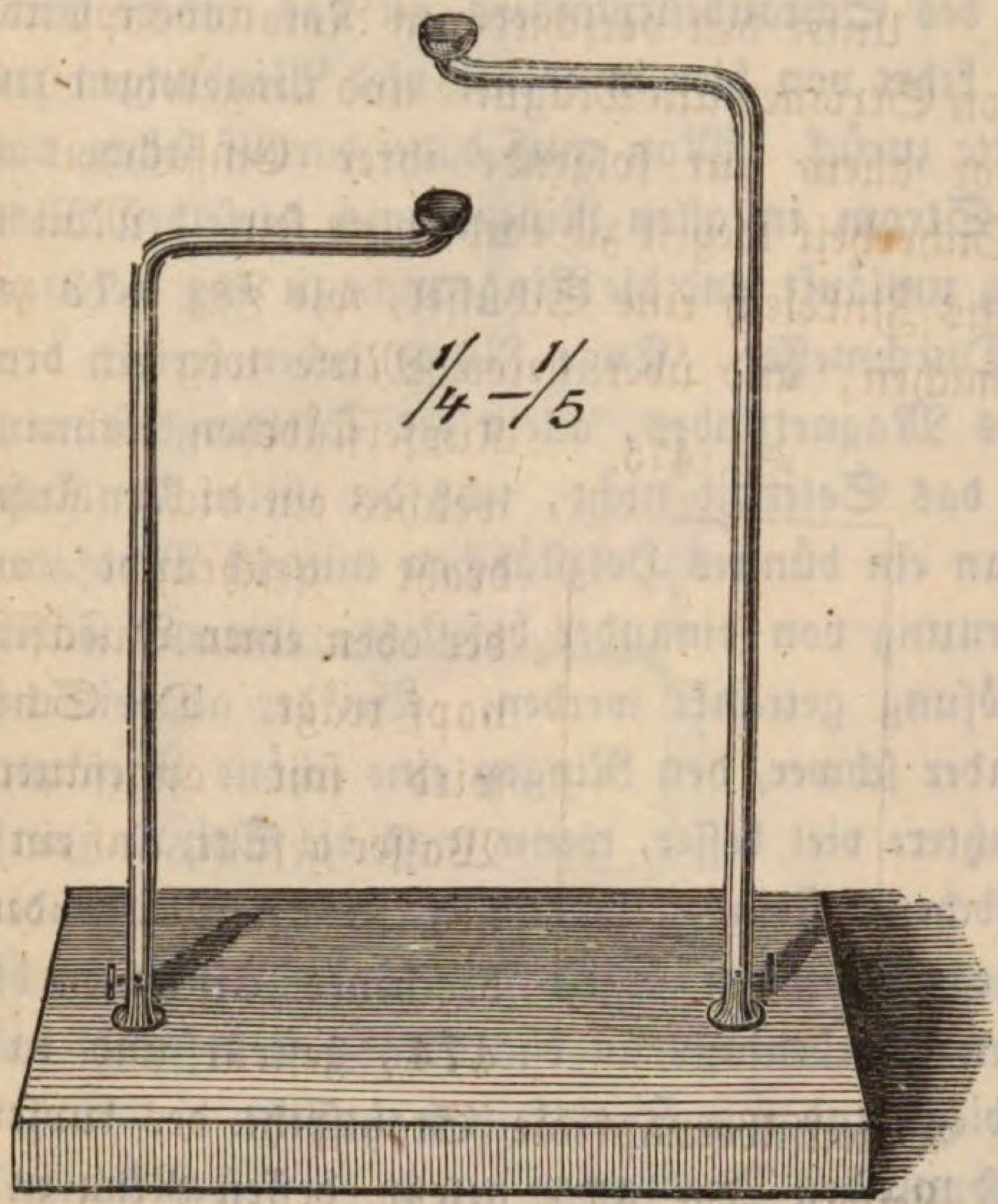
Der Draht fängt dabei in der Mitte an, ist nach einer Seite hin gewunden, geht dann durch die Axe des Schraubencylinders an das andere Ende und kehrt von hier in ebenso viel Windungen zur Mitte zurück. Man muß dabei darauf sehen, daß der Strom in allen Ringen nach derselben Richtung umläuft und die Ringe nicht zu eng nehmen, jedenfalls nicht unter 2 Zoll Durchmesser. Enge Ringe geben freilich dem Apparate mehr die Form eines Magnetstabes, allein ihr Drehungsmoment ist zu klein und dann geht das Solenoid nicht, trotz der vielen Umläufe. Die einzelnen Ringe werden an ein dünnes Holzstäbchen mittelst Bindfaden oder Seide in gleicher Entfernung von einander befestigt; leinener Faden muß nachher mit Schelllacklösung getränkt werden. Bei der abgebildeten Form des Solenoids hält es aber schwer, den Ringen eine schöne Rundung zu geben; man erreicht das letztere viel besser, wenn man die Spirale zuerst ganz windet und auf das Stäbchen festbindet, sodann die beiden Drahtenden auf der den Windungen entgegenstehenden Seite des Stäbchens gegen die Mitte desselben zusammenführt, sie ebenfalls an das Stäbchen befestigt und dann erst die Enden gehörig biegt und mit Stahlspitzen versieht.

Ein zweites Solenoid wird mit den Drahtenden nur in die beiden Klemmschrauben *d e*, Fig. 464, eingesetzt, um die Wirkung zweier Solenoide auf einander zu zeigen. Manche Solenoide gehen auch nicht, weil ihr Draht zu dünn ist, man muß lieber mehr als millimeterdicken, als schwächeren Draht nehmen; man hat hier viel weniger vom vermehrten Gewichte als von der verminderten Stromstärke zu fürchten, da ein solches Solenoid und noch mehr zwei derselben dem Strome schon einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen. Die Einwirkung eines Stahlmagnets auf ein Solenoid ist übrigens so, daß sie sich fast unter jeder Bedingung zeigen läßt, nur die Einwirkung des Erdmagnetismus bedarf einer zweckmäßigen Construction des Solenoids.

Zu bemerken ist bei diesen Apparaten, daß durch die Theilung des Stromes in zwei Leiter derselbe eben für beide schwach und, da sie ungleich sind, auch in beiden ungleich wird, wodurch der Erfolg manchmal zweifelhaft wird, wenn man nicht über größere Stromstärke verfügen kann. Bei geringeren Mitteln ist es rathsamer, durch den beweglichen Leiter einen besonderen Strom zu leiten, und einen anderen durch den festen Leiter, der dann natürlich nicht in die Klemmschrauben *d e*, Fig. 464, eingeschraubt, sondern auf irgend eine andere Weise in der erforderlichen Lage befestigt wird. Eine Grove'sche Kette mit 10—12 wirksamen, d. h. in die Säure

tauchenden, □ Zoll Platinblech reicht aber in jeder Form des Versuches aus, ebenso sechs Bunsen'sche Elemente von mittlerer Größe, wovon man drei zu einem verbundenen für den beweglichen und drei ebenso verbundene für den unbeweglichen Leiter verwendet.

Fig. 471.



Wenn man sich mit weniger begnügen muß, so kann man das Gestell, wie Fig. 471 einrichten, wo dann der Strom in den senkrechten Stangen auf jenen im beweglichen Leiter anziehend uud abstoßend wirkt, und dieser sich in die Ebene der Stangen stellen muß, was hier schon bei ziemlich geringen Mitteln — einem Wollaston'schen Elemente — geht. Zu anderen Zwecken ist aber ein solches Gestell unzweckmäßig und darum ein Commutator daran ganz überflüssig.

273 **Schwimmende Ströme.** Am aller einfachsten kann man den Einfluß des Erdmagnetismus und künstlicher Magnete auf einen beweglichen Strom an den schwimmenden Strömen zeigen. Man nimmt hiezu ein Wollaston'sches Element von nur etwa 1 — 1½ Quadratzoll Zink, welches aus ganz dünnem Bleche gefertigt wird. Sowohl an das Kupfer als an das Zink löthet man 1 — 2 Millimeter dicke Kupferdrähte, bindet

Fig. 472.



übrigens die Bleche, nachdem die dieselben trennenden Holzstückchen dazwischen geschoben sind, nur durch einen umgewickelten gewichsten Faden zusammen, der größeren Leichtigkeit wegen. Man muß das Element so leicht als möglich machen, um den Draht stärker und größer nehmen zu können. Wenn das Element zusammen gesetzt ist, schiebt man die Drähte, wie Fig. 472, zeigt, durch einen Kork und biegt sie oberhalb zu einem Ringe. Die Enden derselben klopft man breit, amalgamirt sie und bindet sie mit Fäden übereinander. Läßt man den so gefertigten Apparat auf etwas stark

angesäuertem Wasser schwimmen, so stellt er sich von selbst so, daß sein Ring senkrecht zum magnetischen Meridiane steht, oder folgt der Einwirkung eines Stahlmagneten, stellt sich auch parallel zu einem über ihm weggeleiteten starken geradlinigten Strome.

Rotationsapparate. Unter den verschiedenen Rotationsapparaten 274
von Strömen um Magnete und umgekehrt dürften vor allem nur folgende ihrer Einfachheit und Sicherheit wegen zu empfehlen sein. Man läßt aus Zinkblech eine Schüssel, wie Fig. 473 zeigt, machen, und über deren Mitte weg ein breites Kupferstäbchen löthen, in welches ein dicker Kupferdraht geschraubt wird, der oben einen Quecksilbernapf trägt. Die Schüssel wird mit angesäuertem Wasser gefüllt, auf ein kleines in der Mitte durchbrochenes Tischchen, Fig. 474, gestellt und in den Quecksilbernapf die Stahlspitze des kupfernen Leiters, Fig. 475, gesetzt, dessen Ring in das gesäuerte Wasser taucht. Hält man, wie in Fig. 474, den einen oder den anderen Pol eines Magnets von unten her in den mittleren Ring der Schüssel, so beginnt der Ring eine demselben entsprechende Rotation. Anstatt des Magnets kann man äußerlich um die Zinkschüssel ein Multiplicatorband legen, das aus einem etwa 30 Fuß langen und ½ Zoll breiten, mit Seide umwickelten Kupferstreifen gebildet ist.

Fig. 473.

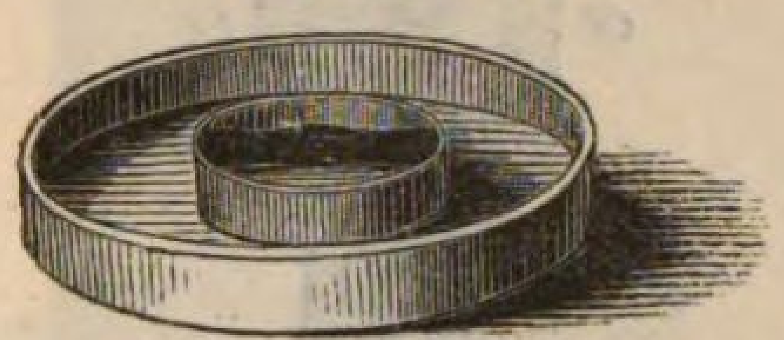


Fig. 474.

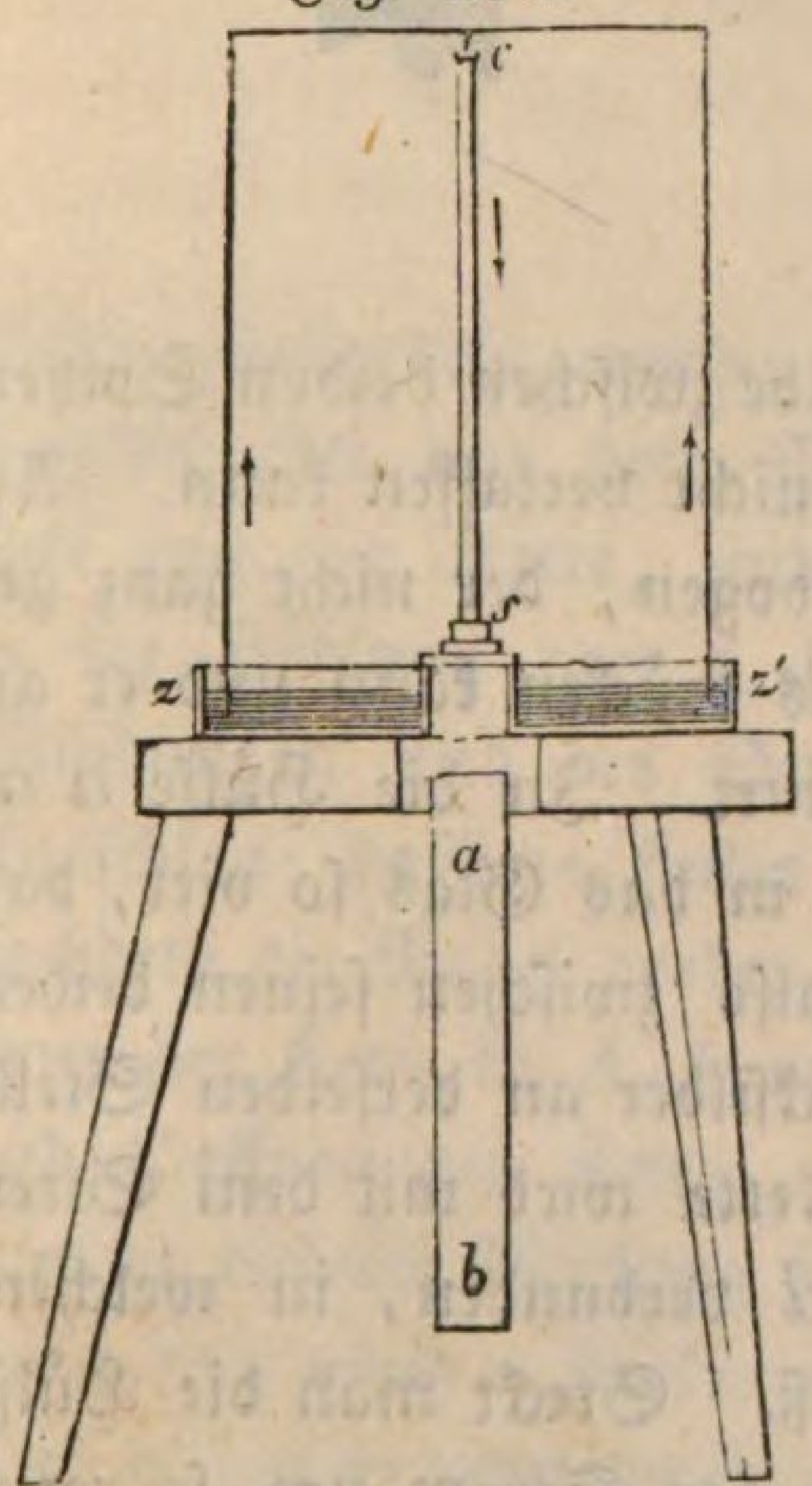
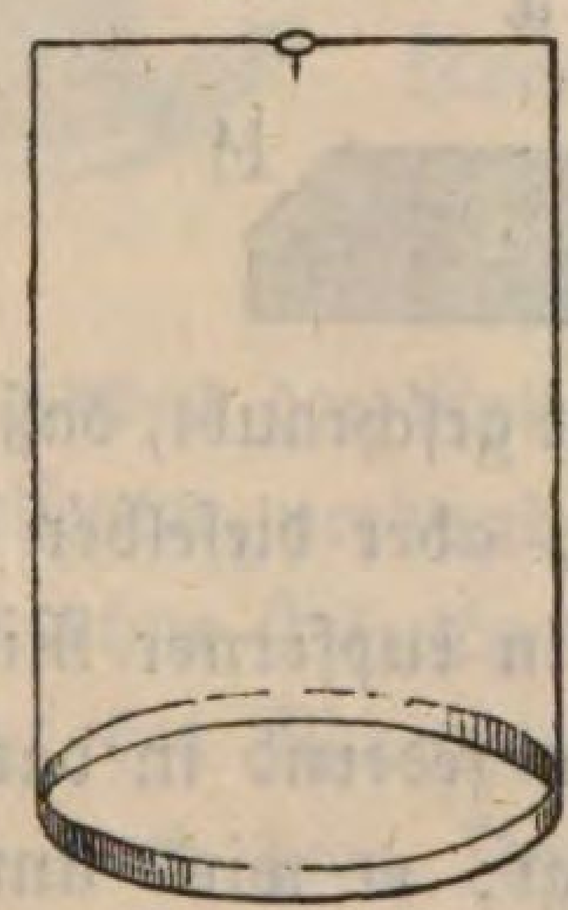


Fig. 475.



Einen Magneten, der vermöge eines elektrischen Stromes rotirt, erhält man am einfachsten auf die in Fig. 476 und 477 (a. f. S.) im Durchschnitte dargestellte Weise. Auf ein Brettchen *MM* ist ein Trinkglas etwas eingelassen, auf dessen Boden ein Stückchen Holz gekittet ist, in welches man eine Stahlspitze geschraubt hat. Zum Magnete nimmt man ein etwa 3 Zoll langes und 2 — 3 Linien dickes Stück Rundstahl, den man auf der Drehbank an zwei Spitzen vollends rund macht, dann härtet, rein smirgelt und magnetisirt. Man setzt diesen Magnet mit der Vertiefung, die er vom Abdrehen her hat, auf die Spitze im Glase, nachdem man auf den anderen Pol *N* eine Hülse *a a* aus beliebigem Material aufgeschoben hat. Ein Messing-

streifen *c d* ist ebenfalls auf das Brettchen *M M* befestigt und trägt eine stählerne Schraube *b*, deren reingeschliffene Spitze jener im Glase vertikal gegenübersteht. Die Schraube wird nun soweit gegen das obere Kernloch

Fig. 476.

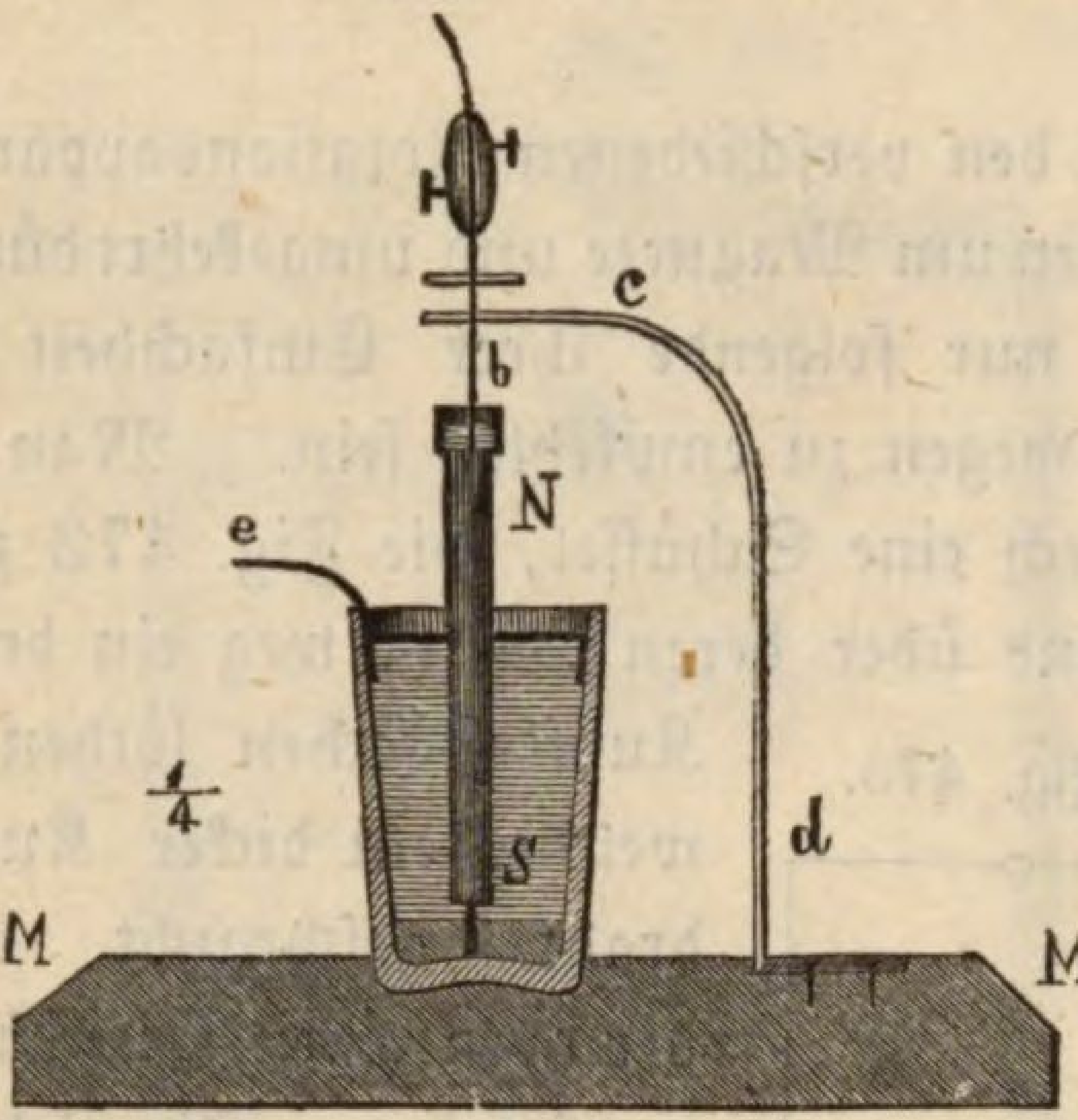
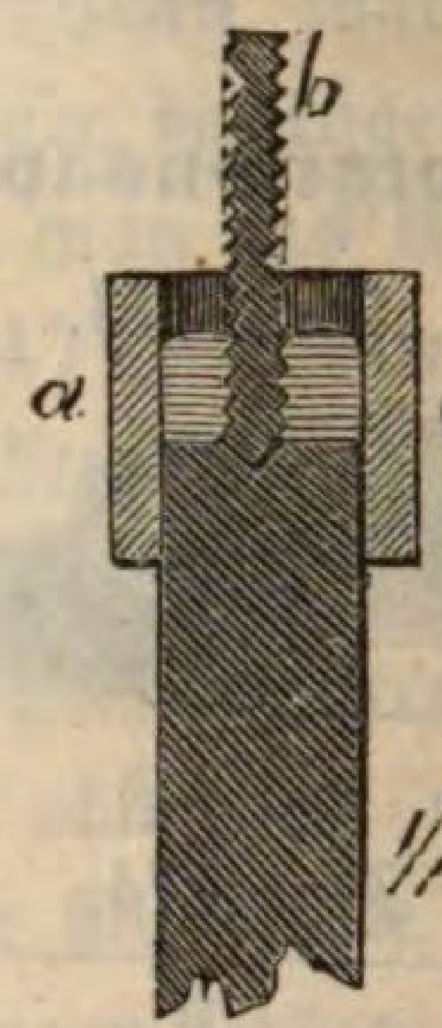


Fig. 477.



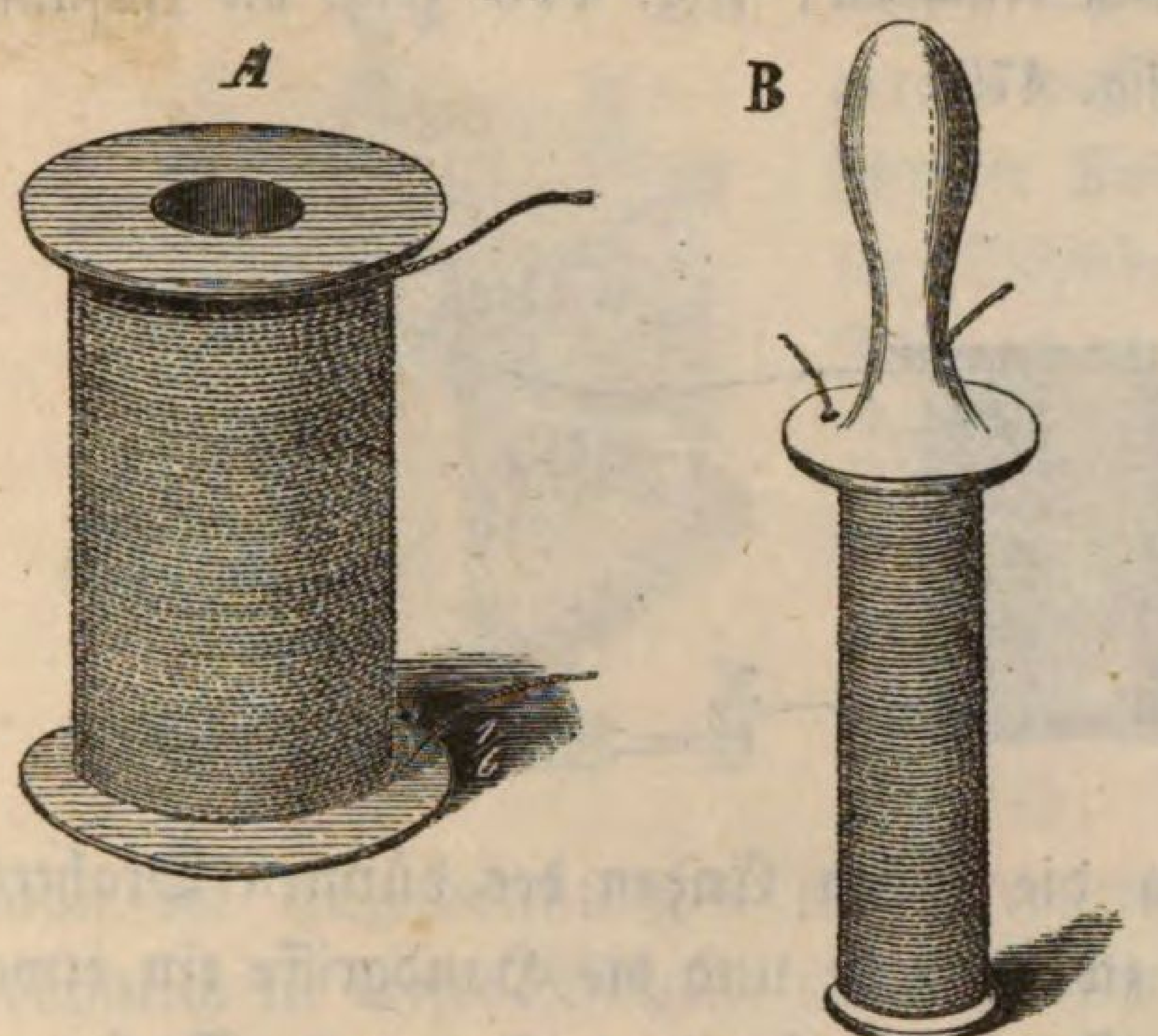
des runden Magneten herunter geschraubt, daß derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber dieselben doch nicht verlassen kann. An einen Kupferstreifen *e* ist ein kupferner Ring gebogen, der nicht ganz geschlossen ist, so daß man ihn federnd in das Glas drücken kann und er an der Wand desselben sich anlegt; er wird amalgamirt. In die Hülse *a a*, Fig. 477, gießt man nun etwas Quecksilber und in das Glas so viel, daß sein Auftrieb gerade den Magnet trägt und er also zwischen seinen beiden Spitzen eigentlich schwebt, folglich, da er im Quecksilber an derselben Stelle bleibt, sich ungemein leicht drehen kann. Die Kette wird mit dem Streifen *e* und der Schraube *b* oder dem Bügel *c d* verbunden, in welchem die Schraube einen etwas festen Gang haben muß. Steckt man die Hülse *a a* an den Pol *S* des Magnets, oder kehrt man den Strom um, so rotirt der Magnet in entgegengesetzter Richtung, und zwar immer ziemlich schnell.

F. Versuche über die Induction.

275 Die Fundamentalgesetze über die Induction elektrischer Ströme kann man sehr einfach durch zwei Drahtrollen *A*, *B*, Fig. 478, zeigen. Auf die größere sind etwa 100 Fuß von etwas starkem übersponnenen Kupferdrahte gewickelt, und auf die kleinere etwa halb so viel; die letztere kann in die dünnwandige Höhlung der ersteren gesteckt werden, und ihre beiden Draht=

enden sind deswegen oben durch den Griff herausgezogen. Bei dem Aufwickeln solcher Drähte legt man zur Vorsicht zwischen je zwei Lagen einen gefirnißten Streifen Papier, um zu verhüten, daß nicht etwa an fehlerhaften Stellen der Strom von einer Schichte in die andere übertrete, sondern doch nur etwa eine Windung verloren gehe. Das Aufwickeln geschieht übrigens fest und man spannt zu diesem Behufe den Draht gehörig. Auch die Rolle *B* ist innerhalb so weit hohl, um einen etwa 2 Linien dicken Eisenkern hineinstecken zu können.

Fig. 478.

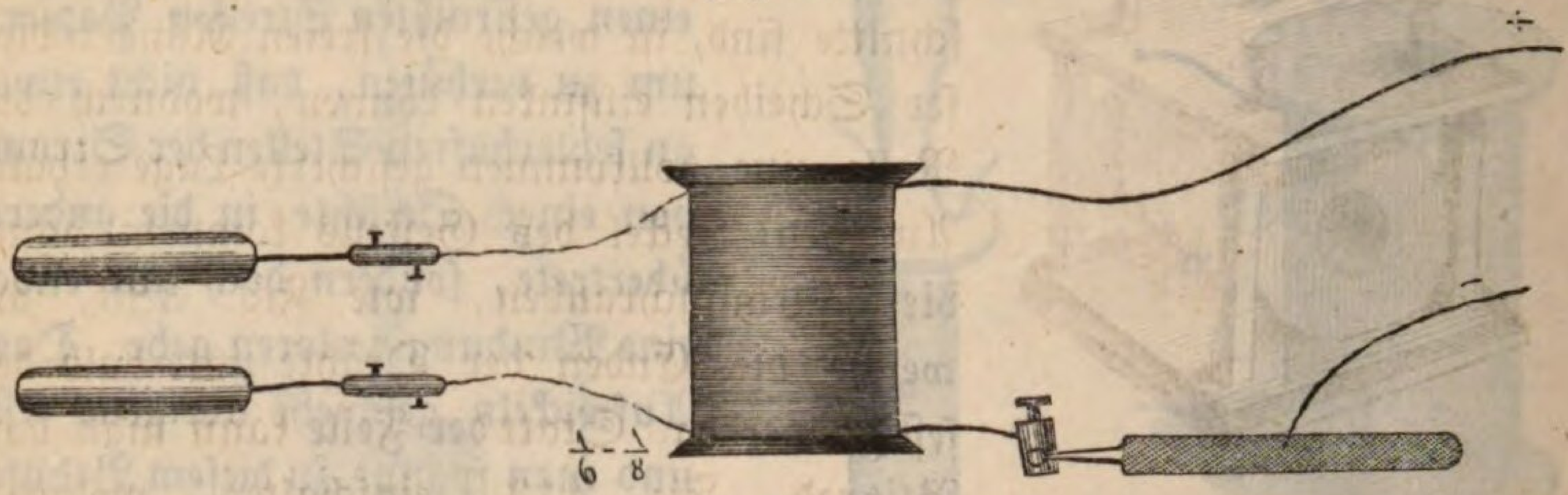


Beim Gebrauche werden die Enden der Rolle *A* durch 4—6 Fuß lange Kupferdrähte mit dem Multiplicator verbunden; die Enden der Rolle *B* aber mit der Kette, und zwar ohne Eisenkern. Steckt man nun rasch *B* in die Höhlung von *A*, so zeigt der Multiplicator einen der Richtung der Windungen und des Stromes nach dem Inductionsgesetze entsprechenden Ausschlag; dasselbe findet statt, wenn man die Rolle *B* wieder entfernt, nachdem die Nadel vorher zur Ruhe gekommen. Steckt man *B* vor Schließung der Kette in *A*, so zeigen sich dieselben Erscheinungen beim Schließen und Oeffnen der Kette. Steckt man statt *B* einen Magneten hinein, so zeigt er dieselbe Wirkung wie die Rolle *B* nach der Ampere'schen Hypothese, nur wirkt er stärker als die Rolle, wenn hier nicht ein ziemlich kräftiger Strom angewendet wurde; ebenso wird die Wirkung der Rolle durch den Eisenkern verstärkt, da die hypothetischen Ströme in ihm, wenn er durch den Strom in *B* magnetisch geworden, nach derselben Richtung rotiren, wie in *B*.

Will man sehr kräftige Wirkungen durch die Induction erhalten, so 276
nimmt man 12—1800 Fuß $\frac{1}{2}$—$\frac{2}{3}$ Millimeter dicken übersponnenen Kupferdrahtes und windet ihn auf eine Rolle wie *A*, Fig. 478. Ueber diesen Draht wickelt man noch etwa 100 Fuß von 2—3 Millimeter dicken Draht. Schraubt man nun an die Enden des dünnen Drahtes, welche an den Endscheiben der Rolle in kleinen Rinnen herausgeführt sind, Handgriffe, wie Fig. 412, und an das eine Ende des dicken den Pol einer schwachen galvanischen Kette (2—3 □ Zoll Zink eines Wollaston'schen Elements) und an das andere eine Feile, über welche man mit dem anderen Poldrahte der Kette hin und her fährt, so erhält derjenige, welcher die Griffe des dünnen Drahtes mit benetzten Händen erfaßt, schon sehr fühlbare Erschütterungen, diese werden aber noch gesteigert, wenn man in die Höhlung der Drahtrolle

einen Eisenkern, oder besser ein ganzes Bündel sehr dünner Eisenstäbe legt. Letztere sollen einen Siegellacküberzug erhalten; Fig. 479 zeigt die Zusam-

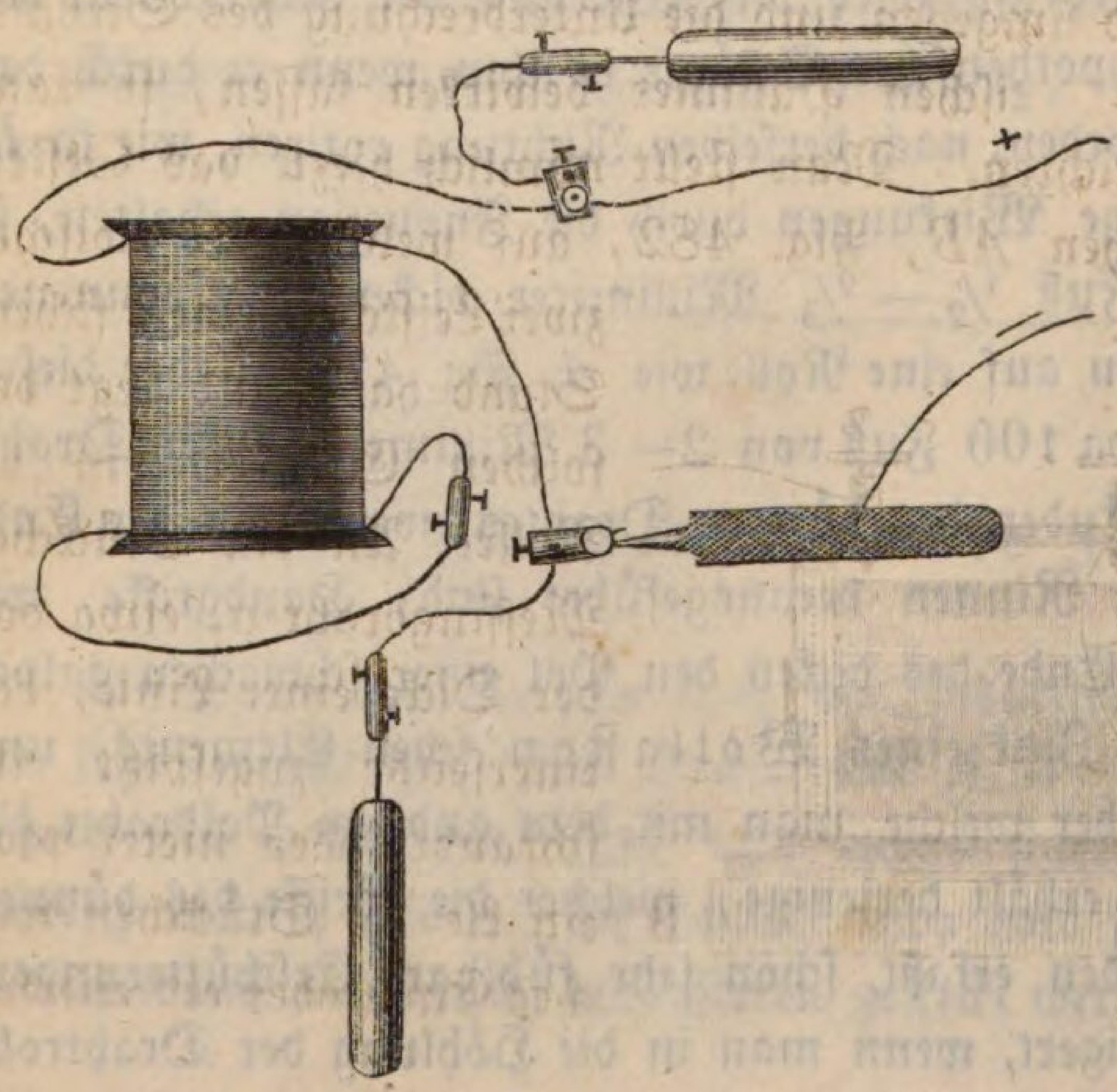
Fig. 479.



mensetzung des Apparates. Wenn die freien Enden des dünnen Drahtes nur kurz wären, so müßte man zwischen sie und die Handgriffe ein etwa 2 Fuß langes Stück von dünnem Drahte einsetzen, weil manche Personen sehr empfindlich sind, und die Arme auseinanderschleudern, wodurch dann der Apparat leicht verdorben werden kann. Ueberhaupt ist es gut, demjenigen, der die Griffe anfaßt, zu sagen, er solle sie nur fallen lassen, wenn die Empfindung ihm lästig werde, obwohl dieses durch die krampfhafte Verdrehung der Hände Manchem fast unmöglich wird. Daß man diese Rolle statt der Rolle *A* auch für die einfachen oben §. 275 beschriebenen Inductionsversuche brauchen könne, wenn man beide Drähte so verbindet, daß der Strom beide nach derselben Richtung durchlaufen kann, ist für sich klar; man bedarf überhaupt nur einer solchen Rolle.

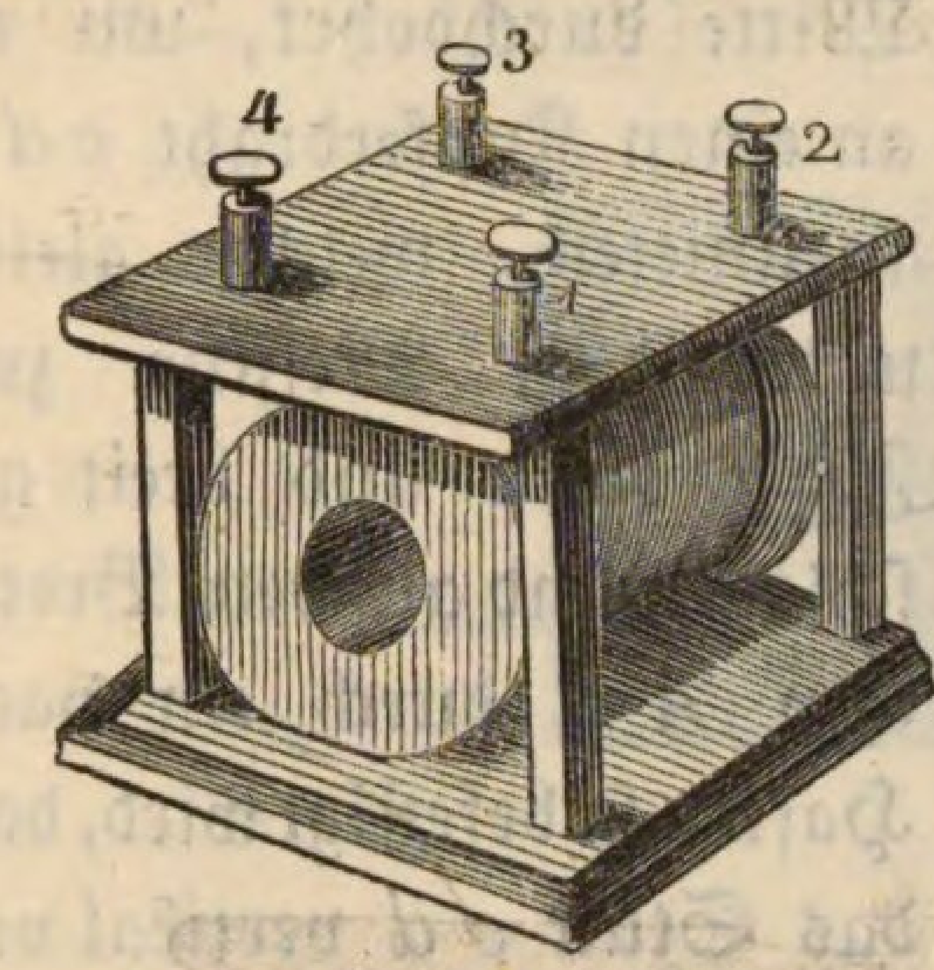
277 **Der Extrastrom.** Schraubt man, nachdem beide Drähte zu einem vereinigt sind, einerseits wieder einen Handgriff und mittelst einer Schraube, wie Fig. 378, auch eine Feile, andererseits aber das Ende des Drahtes an die Kette, noch vorher aber an den Draht auch hier einen Handgriff, so erhält derjenige, welcher die Griffe hält, wenn ein anderer mit dem zweiten Poldrahte der Kette über die Feile fährt, Erschütterungen durch den Extrastrom. Fig. 480 zeigt für diesen Fall die Zusammenstellung. Auch diese Wirkung wird durch den Eisenkern bedeutend

Fig. 480.



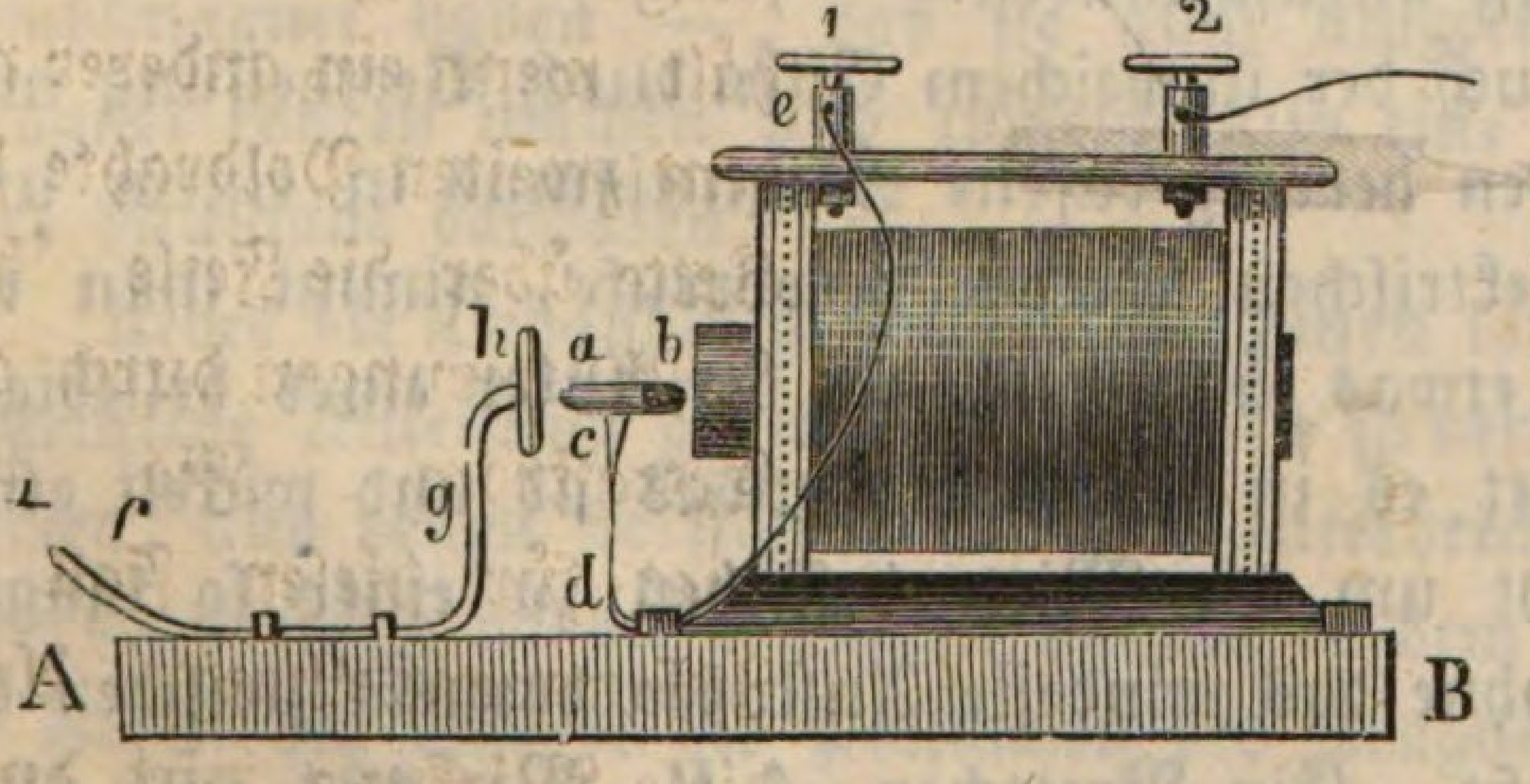
erhöht. Viel bequemer wird die Einrichtung, wenn man die Rolle in ein kleines Gestell, wie Fig. 481, legt, zwischen dessen Säulchen ihre hölzernen Endscheiben gerade passen, und auf dessen Boden zwei Einschnitte sind, in welche die freien Ränder dieser Scheiben einsinken können, wodurch die Rolle eine vollkommen gesicherte Lage erhält. Auf den Deckel des Gestells kommen dann vier Klemmschrauben, wie Fig. 380, an welche die Enden der Dráhte unterhalb befestigt werden. Statt der Feile kann man das Blitzrad, Fig. 413, einschalten, wodurch man die Unterbrechungen des Stromes regelmäßiger machen kann. Gewöhnlich ist dieses Blitzrad auf dem obern Boden des Gestells selbst angebracht; das freie Ende der Feder steht dann in Verbindung mit der Klemmschraube 1, durch welche der Strom eingeleitet wird, und der um die Axe des Rades gelegte Draht ist das eine Ende des dicken Drahtes der Rolle, dessen anderes Ende mit der Klemmschraube 2 verbunden ist. Mit den Klemmschrauben 3, 4 stehen die Enden des dünnen Drahtes in Verbindung, und hier werden die Handgriffe angeschraubt, wenn man Inductionsversuche machen will. Will man aber den Extrastrom haben, so verbindet man zwei Klemmschrauben durch einen Draht, so daß der Strom die ganze Rolle nach derselben Richtung durchläuft; man muß diese zwei Klemmschrauben gleich nach der Anfertigung der Rolle zeichnen, weil man sich später irren könnte. Die Dráhte der Griffe kommen dann an den von der Axe des Rades abgehenden dicken Draht und an das zur Kette gehende Ende des dünnen Drahtes.

Fig. 481.



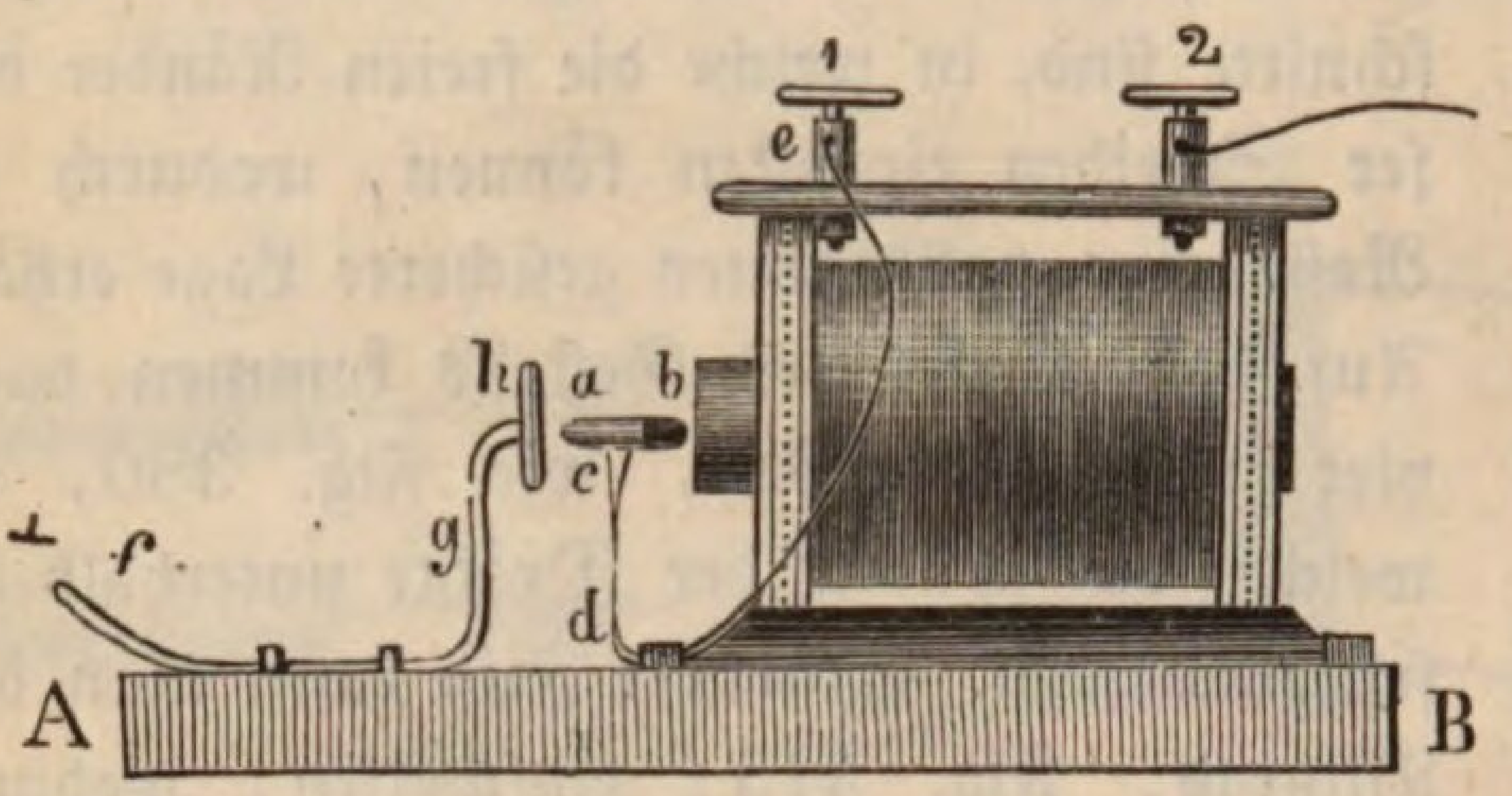
Will man das Blitzrad umgehen und die Unterbrechung des Stromes 278
durch den sogenannten magnetischen Hammer bewirken lassen, so kann man dieses sehr einfach herrichten. Man stellt nämlich hiezu das Gestell, Fig. 481, auf ein Brettchen *AB*, Fig. 482, auf welchem es zwischen zwei Leistchen einen sichern Stand hat, und legt den soliden Eisenkern in die Rolle. An ein Stückchen Messingdraht *a*, etwa von der Dicke einer Linie, das einerseits zugespitzt ist, schraubt oder nietet man ein kleines Stückchen weiches Eisen oder ein eisernes

Fig. 482.



Plättchen *b*, das auf seinem freien Ende eine glatte, nur wenig convexe Fläche erhält. Das Messing wird an der Spitze amalgamirt und in der Mitte durchbohrt, um es an einen Kupferdraht *c d e* anzunieten, welcher gleich unter dem Messing zur Feder dünn und breit geschlagen und auf dem Brettchen *A B* durch ein paar Haften so befestigt wird, daß das Stück *c d* vertikal vor der Mitte des Eisenkerns steht und der Hammer *a b* ungefähr nach dem Mittelpunkte des Eisens schlagen kann.

Fig. 483.



Der Draht *c d e* wird so lang genommen, daß man ihn an die Klemmschraube 1 anschrauben kann. Auf das Brettchen *A B* wird ein zweiter Draht *f g* geheftet, der sich in eine kleine amalgamirte Scheibe endigt. Die Feder des Hammers *a b* wird so gerichtet, daß die Spitze desselben das Plättchen *h* leise berührt. Leitet man nun einen Strom bei *f* ein, so wird er den Weg *f g h a c d e* 1 verfolgen, und von da entweder durch das stehen bleibende Blitzrad, wenn ein solches auf dem Gestelle ist, oder unmittelbar in den dicken Draht übergehen und bei 2 austreten. Dadurch aber wird der Eisenkern magnetisch und zieht den Hammer an, wenn er in der Rolle so verschoben wird, daß er nur noch einen sehr kleinen Abstand vom Eisen des Hammers *a b* hat; dieses unterbricht den Strom, wodurch der Eisenkern seinen Magnetismus wieder verliert und die Feder *c d* den Hammer nach *h* zurückführt.

Daß man auch für den Extrastrom die gleiche Einrichtung verwenden könne, ist sehr einleuchtend. Man hat nämlich nur in die Klemmschraube 1 zugleich mit *c d e* den Draht des einen Handgriffs einzuschrauben, durch die zwei passenden Klemmschrauben beide Drähte in einen zu verbinden, und an die vierte Klemmschraube den zur Kette zurückführenden Draht nebst dem zweiten Handgriff anzuschrauben.

279 Um zu zeigen, daß auch der in weichem Eisen durch Vertheilung mittelst eines andern Magneten hervorgerufene Magnetismus in einem umwickelten Drahte einen elektrischen Strom hervorrufe, nimmt man ein weiches Stück Eisen, das etwas länger ist, als der Anker eines beliebigen Hufeisen-Magnets, rundet es in der Mitte etwas ab und wickelt etwa 10—20 Fuß Kupferdraht um die Mitte desselben zu einer so langen Rolle auf, daß sie noch ohne das mindeste Anstoßen bequem zwischen die Schenkel des Hufeisens paßt. Ein Brettchen *A B*, Fig. 484 und 485,

wird auf der Seite gegen *A* um die Dicke dieses Eisens dicker gelassen, als auf seiner übrigen Länge, und in der Mitte mit einem Schlitze *C D*

Fig. 484.

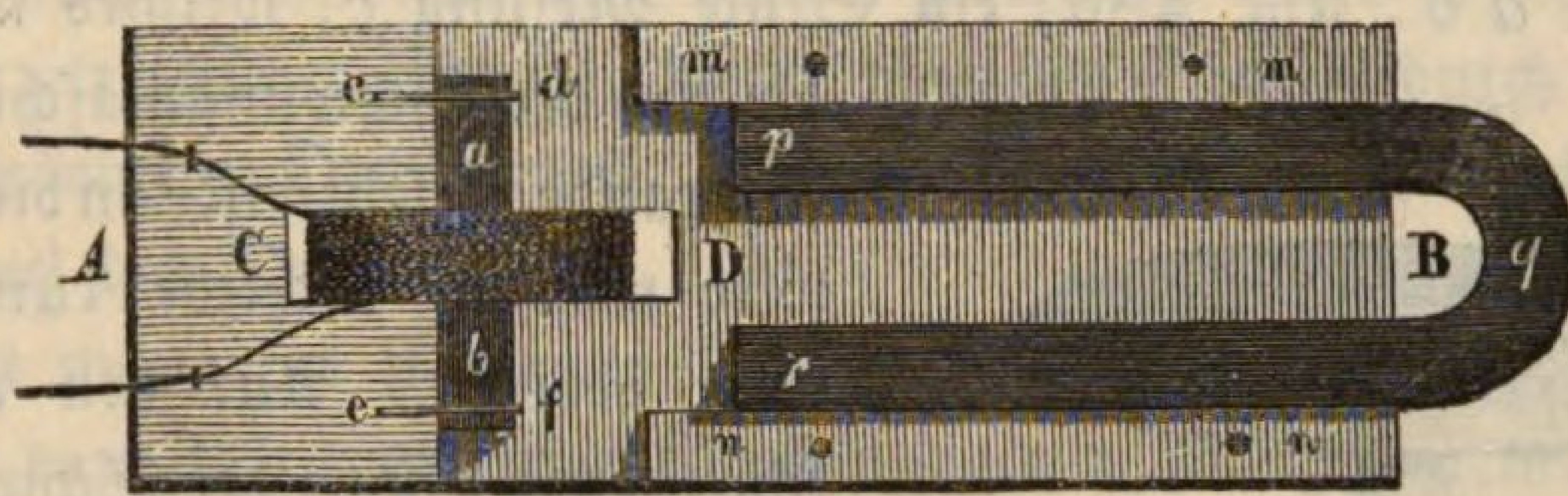
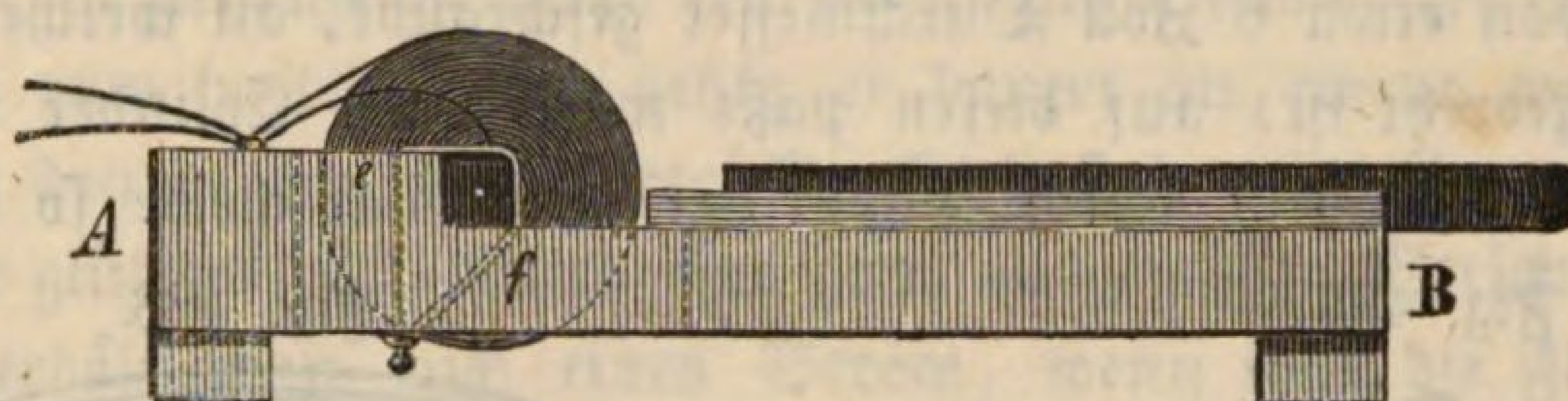


Fig. 485.



versehen, so daß man den Anker *a b* sammt der Rolle, wie die Figur zeigt, auf das Brettchen legen und durch Drähte *c d*, *e f* gehörig befestigen kann. Für diese Drähte feilt man Rinnen in die äußern Theile des Ankers; die Enden der Rolle aber werden auf das Brettchen befestigt, um mit dem Multiplicator verbunden zu werden. Auf den andern Theil des Brettchens schraubt man zwei schmale Leisten *m m*, *n n*, zwischen welchen man den Hufeisenmagnet *p q r* auf der Fläche des Brettchens rasch an den Anker anschieben und von ihm abreißen kann. Jedesmal zeigt hiebei der Multiplicator einen Strom in vorher bestimmter Richtung.

Magnetelektrisirmaschinen. Der vorhergehende Versuch ist die 280
Grundlage für die Erklärung der Magnetelektrisirmaschinen, deren Einrichtung sehr mannigfaltig ist. Wenn dieselben mit Stahlmagneten versehen sind, so bieten sie manche Bequemlichkeiten mehr als jene, welche Elektromagnete besitzen; sie werden aber dadurch auch theurer. Eine eigenthümliche Construction haben die Stöhrer'schen derartigen Maschinen; sie sind zugleich deswegen sehr empfehlenswerth — obwohl sie keinen Stahlmagnet haben —, daß sie auch umgekehrt durch den Strom den Magnet rotiren machen und zugleich also eine durch Galvanismus treibbare Maschine darstellen.

Ueber die Behandlung solcher Maschinen läßt sich um so weniger eine allgemeine Anleitung geben, als dieselben so verschieden sind, als die Werkstätten, aus denen sie stammen. Die Unterbrechung des inducirten Stromes muß übrigens bei denselben nahezu in dem Augenblicke erfolgen, wo die Fläche des Ankers die Polflächen des Magnets in Folge der Drehung gerade überschritten hat.

281 **Magnetische Erscheinungen rotirender Scheiben.** Die hierher gehörigen Versuche lassen sich der Hauptsache nach mittelst der Schwungmaschine sehr leicht darstellen. Man löthet auf eine Scheibe aus starkem Kupferbleche *a b*, Fig. 486, ein Stück Messing *c*, welches mit einer auf die Axe der Schwungmaschine passenden Schraube versehen ist; an dieser Schraube wird nun die Scheibe rund und wohl eben gedreht. Auf den in §. 86 beschriebenen Bügel der Schwungmaschine wird ein kreisrundes Brettchen *A B*, Fig. 487, von etwa 6 Zoll Durchmesser geschraubt, an welches außerhalb ein Ansatz gedreht ist; auf diesen paßt man einen Cylinder von Pappe, Fig. 488, in welchem durch Pappringe eine Glasscheibe so befestigt ist,

Fig. 486.

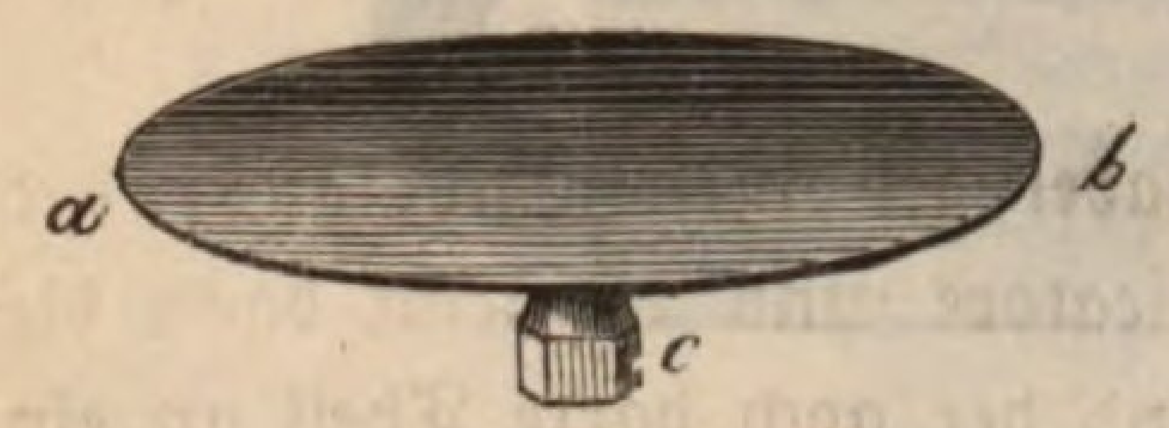


Fig. 487.

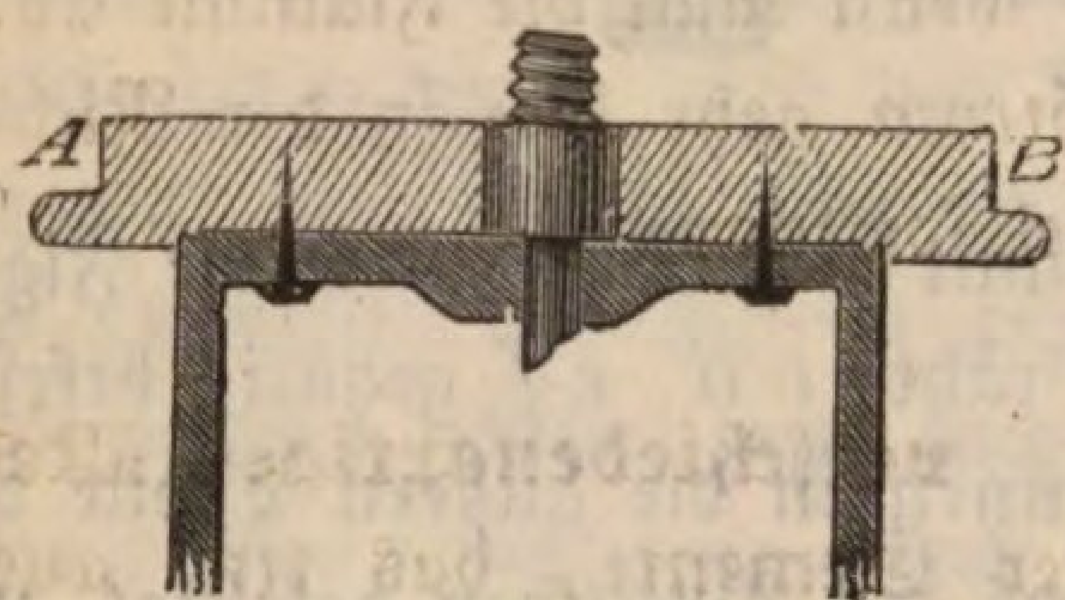
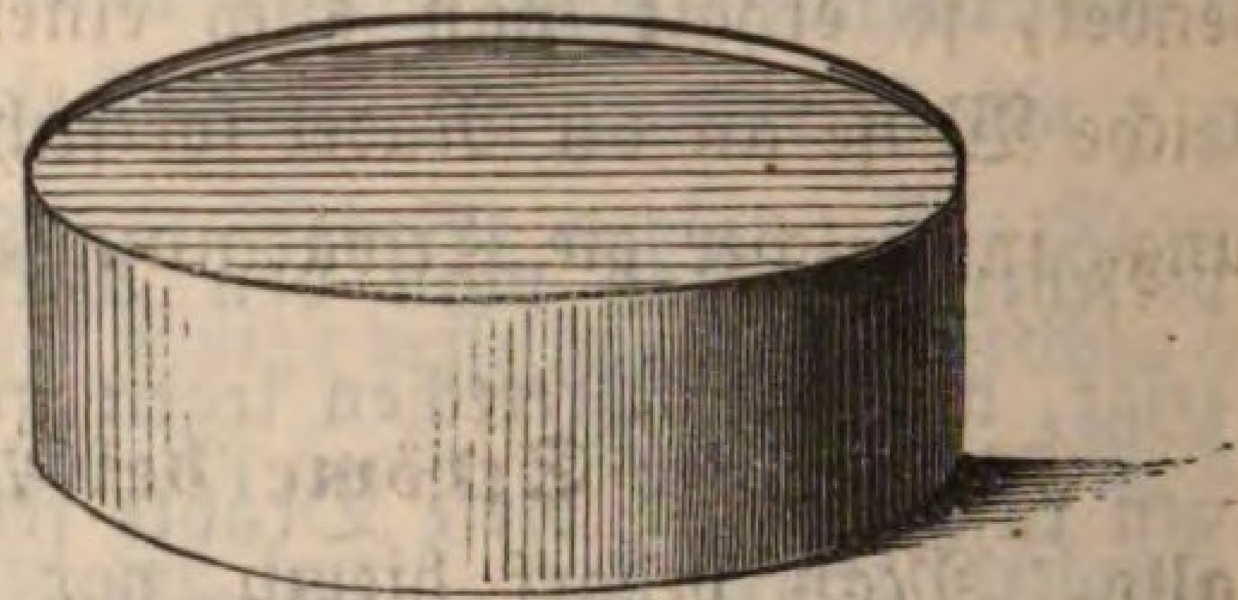


Fig. 488.



daß, wenn die Kupferscheibe auf die Axe geschraubt und der Cylinder aus Pappe auf das Brettchen darüber gesteckt ist, die Kupferscheibe dicht unter dem Glase sich befindet, ohne aber an diesem zu streifen. Auf das Glas setzt man nun mittelst eines sehr niedrigen Stativs, Fig. 489, eine Magnetnadel, deren Länge beinahe dem Durchmesser der Kupferscheibe gleichkommt. Wird die Kupferscheibe in ihrem Gehäuse schnell gedreht, so folgt ihr die Magnetnadel in derselben Richtung. Die Wirkung solcher Kupferscheiben ist aber sehr ungleich stark, selbst wenn sie neben einander aus demselben Bleche geschnitten wurden. Eine zweite Kupferscheibe erhält mittelst der Säge radiale Einschnitte, um den bekannten Erfolg derselben nachzuweisen.

Fig 489.



G. Versuche über die Elektricität durch Wärme.

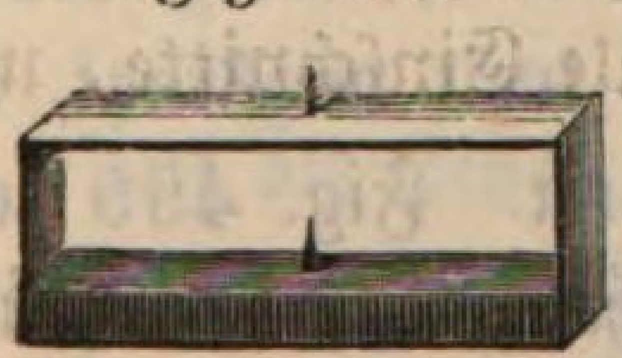
282 **Elektrische Ströme mit einem Metalle.** a. Wenn man an einen Multiplicator zwei kupferne Zuleiter schraubt, deren einer sich in eine kleine Platte endet, und diese dann durch eine Weingeistlampe erwärmt, so entsteht ein elektrischer Strom, wenn man diese erwärmte Platte mit dem kalten Ende des andern Drahtes berührt.

b. Nimmt man einen einige Zolle langen und $\frac{1}{2}$—1 Millimeter dicken Platindraht, dreht diesen gegen das eine Ende hin in eine Spirale von etwa drei oder vier Umgängen, die eine halbe oder ganze Linie weit sind, und verbindet ihn mit den beiden Zuleitern eines Multiplicators, so entsteht ein elektrischer Strom, wenn man die Spirale durch die Weingeistlampe erwärmt. Der Strom geht von der erhitzten Spirale gegen den kalten Theil des Drahtes.

c. Glüht man eine stählerne Stricknadel an einem Ende aus, verbindet sie mit den Zuleitern eines Multiplicators und erwärmt dann dieselbe an der Stelle, wo der ausgeglühte und der noch harte Theil an einander stoßen, so entsteht ebenfalls ein elektrischer Strom, der in der Nadel vom weichen zum harten Theile geht; er dauert an, wenn man mit der Lampe gegen den harten Theil fortrückt, so daß der im Feuer befindliche Theil immer glühend ist. Wird eine ganz ausgeglühte Stricknadel angewendet, so erhält man auch einen Strom, wenn man die Flamme auf gleiche Weise an der Nadel fortführt; der Strom geht hier in der Richtung, in welcher die Erwärmung in der Nadel fortschreitet.

Elektrische Ströme bei Anwendung verschiedenartiger Metalle. 283 Man bedarf hierzu vor allem zweier Elemente, das eine aus Kupfer und Wismuth und das andere aus Kupfer und Spießglanz, um das Verhältniß des Kupfers wenigstens zu diesen zwei Metallen zeigen zu können. Man gießt zu dem Ende in eine Form von Papier zwei vierkantige, etwa fingerdicke und 3 Zoll lange Stäbe aus diesen beiden Metallen (für Spießglanz muß man die Papierform etwas dick umwickeln), und feilt sie vollends rein; sodann biegt man zwei Kupferdrähte oder besser zwei Kupferstreifen jeden zweimal rechtwinklicht und löthet jeden mit Zinnloth wie Fig. 490 zeigt, an eine der Stangen. Den Streifen, der für das Wismuth bestimmt ist, muß man aber vorher mit dem Lothe verzinnen, weil das Kupfer heißer werden muß, bis das Loth darauf fließt, als das Wismuth ertragen kann. Es ist bequem, wenn man vorher in jedem Streifen, sowie auch in jeder der Stangen Nadelspitzen befestigt, um dann kleine Magnetnadeln darauf setzen zu können.

Fig. 490.



Beim Versuche versieht man die Elemente mit Magnetnadeln und stellt beide unter sich und mit der Ebene des magnetischen Meridians parallel auf ein hölzernes Stativ, so daß eine Löthstelle von jedem über dasselbe herausragt, worauf man diese Löthstelle durch Weingeistlampen erhitzt. Man erhält sogleich eine bedeutende Ablenkung, und zwar bei beiden Elementen in entgegengesetzter Richtung.

284 **Die Thermosäule.** Da dieselbe gewöhnlich nur in Verbindung mit einem Multiplicator als Thermoskop gebraucht wird, so muß sie in kleinem Maßstabe ausgeführt werden, damit sie schneller die dargebotene Temperatur annimmt. Die dazu erforderlichen Elemente werden aus Stäbchen von Spießglanz und Wismuth — die man in eisernen Formen gießt — mit der Feile so zugerichtet, wie Fig. 491 in natürlicher Größe zeigt; die Spießglanz-Stäbchen müssen an den beiden Köpfen, wo die Wismuth-Stäbchen angelöthet werden sollen, vorher mit leichtflüssigem Zinnlothe verzinnt werden, da sie, wie das Kupfer, das Loth nur in größerer Hitze annehmen. Das Löthen geschieht hier übrigens nur mit dem Kolben, da Wismuth so außerordentlich leichtflüssig ist. Bei dem Löthen macht man sich federnde Klammern von Draht, wie Fig. 492, und legt in die Zwischenräume der Stäbchen Holzstückchen. Man löthet z. B. zuerst die vertikalen Schichten von je 5 Paaren und setzt diese erst zuletzt zusammen, wenn alle Schichten fertig sind. Die Endstücke der Schichten müssen aber hiefür ihre Endansätze rechtwinklicht zu einander haben, wie Fig. 493. Fig. 494 zeigt die Aneinanderfügung der Endstücke zweier vertikalen Schichten. Ist der Pack von 20 oder 25 Paaren fertig, so legt man ihn in eine runde oder vierkantige Hülse von hartem Messingblech, nachdem man auf die Mitte des ersten und letzten Stäbchens kurze Kupferdrähte gelöthet hat, welche durch zwei Oeffnungen der Hülse herausgeführt werden. Der noch übrige Raum wird mit Gyps ausgegossen, den man später wieder so weit wegkratzt, daß die Köpfe der Stäbchen frei werden, und dann schwärzt. Fig. 495 zeigt die ganze Säule und zwar mit ihrer doppelten Hülse, weil noch ein trichterförmiger Ansatz für gewisse Zwecke aufgeschoben werden muß, bald um fremde Wärmestrahlen abzuhalten, bald um Wärmestrahlen zu concentriren. Der Apparat wird noch auf eine hölzerne Fassung befestigt, welche mit einem Stiele versehen ist, der in ein Stativ, wie Fig. 174, paßt. Als Zuleiter wählt man am besten spiralig gewundene Kupferdrähte, weil diese nachgiebig genug sind, um den Apparat vor Umreißen durch einen unvorsichtigen Ruck zu schützen. Solche Zuleiter sind auch in manchen

Fig. 491.



Fig. 492.

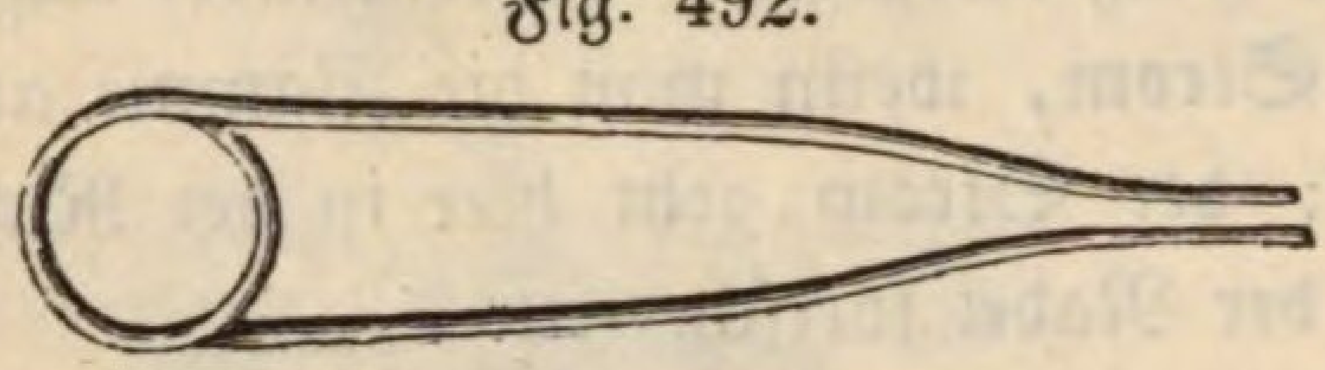


Fig. 493.

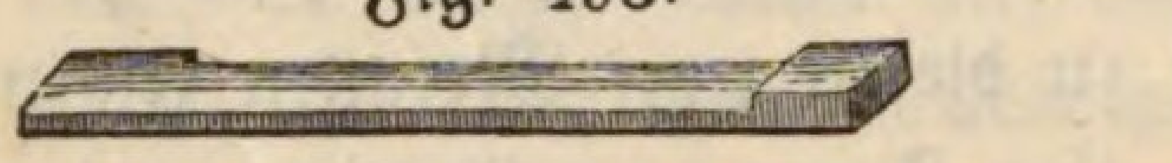


Fig. 494.

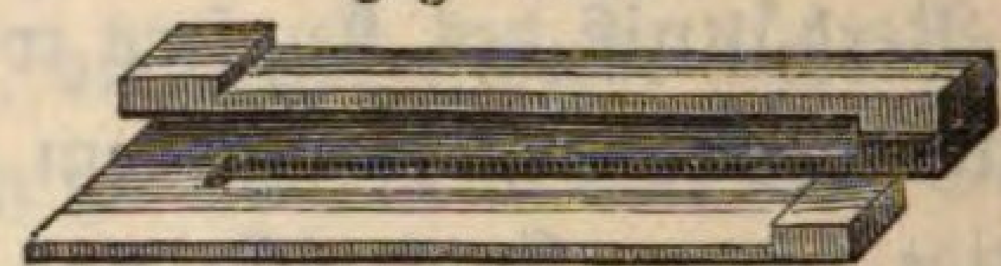
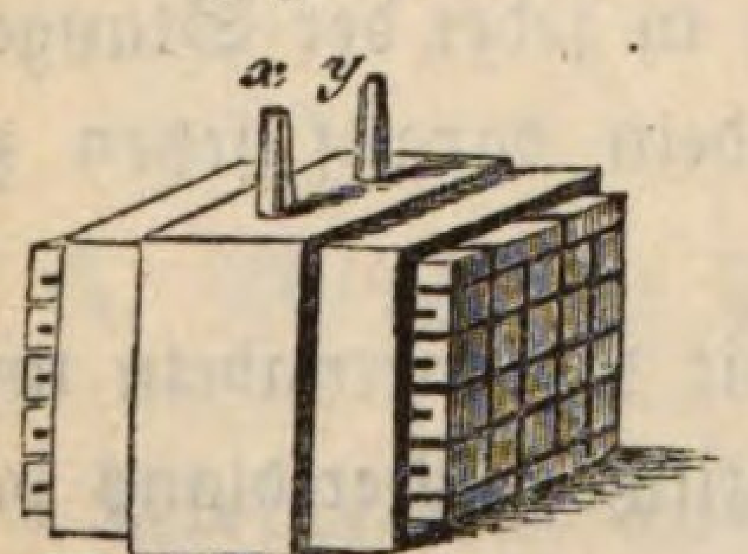


Fig. 495.



andern Fällen zu empfehlen. Zu dieser Arbeit muß man aber wohl ein Stück Geduld mitbringen, denn das Löthen dieser dünnen Stücke ist eine mißliche Sache; läßt man sie löthen, so muß man aber jedenfalls dabei bleiben, damit die Ordnung nicht verletzt wird. Daß manches Stäbchen, namentlich von Spießglanz, dabei zerbricht, versteht sich wohl von selbst; man muß daher gleich von Anfang für reichlichen Vorrath sorgen. Will man nicht gerade auf größte Empfindlichkeit sehen, so kann man Stäbchen von etwa 4 Quadratlinien Querschnitt nehmen, wodurch die Sache sehr leicht ausführbar wird; sehr empfindliche Apparate wird man doch wohl lieber fertig kaufen. Beim Gebrauche muß stets ein Multiplicator mit wenig Windungen und dickerem Drahte angewendet werden, übrigens kommen die Anwendungen erst bei der Lehre von der strahlenden Wärme vor. Hierher gehört nur die Einrichtung und Wirkung des Apparates.

Achter Abschnitt.

Versuche über die Wärme.

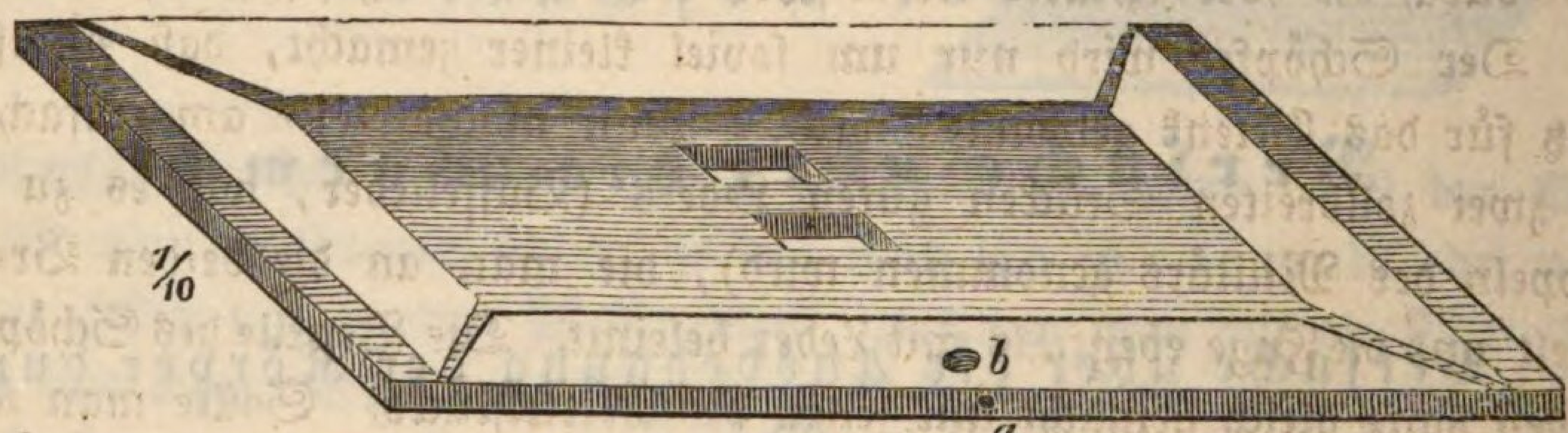
A. Versuche über die Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Auf der Lehre von der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht eines der wichtigsten Instrumente, das Thermometer. Seine Construction erfordert einige Uebung im Glasblasen an der Lampe, und darum soll bei dieser Gelegenheit das Nöthigste über diese Arbeit vorgetragen werden, welche dem Experimentator so häufig vorkommt, als nur irgend eine, und für welche man gerade am wenigsten Arbeiter findet, ausgenommen in größern Städten. Allein selbst in diesem Falle wäre es zu umständlich, jedesmal fremde Hülfe in Anspruch nehmen zu müssen, und man muß sich daher einige Uebung in dieser Art, das Glas zu bearbeiten, erwerben, wenn man auch die schwierigeren Arbeiten anfertigen lassen kann.

286 **Einrichtung der Blasvorrichtung.** Kann man hiefür einen besondern Platz ausmitteln, so ist es jedenfalls zweckmäßiger, hiefür einen eigenen Tisch, den Blastisch, zu haben; andernfalls kann man auch den ganzen Apparat in eine Kiste richten, die man dann nur auf einen andern, etwas niedrigeren Tisch stellt, und nach deren Beendigung wieder wegnimmt. Der Blasbalg wird am besten sowohl am Schöpfer als am Oberbalg nur mit einer einzigen Falte gemacht, und zwar mit hölzernen Falten, oben gerade aufgehend, damit er in demselben Raume mehr Wind faßt, was besonders dann zu beachten ist, wenn er in eine Kiste kommt. Keiner der beiden Theile bedarf mehr als etwa 2 Zoll Bewegung; man gibt dem Balge lieber eine etwas größere Fläche, um den gehörigen Inhalt zu erreichen, wobei übrigens 1½ — 2 Quadratfuß wieder genügen. Allerdings bedarf man bei einer größern Fläche verhältnißmäßig mehr Gewicht, um gleichen Druck zu erhalten; aber gerade aufgehende Bälge, d. h. solche, wo der Oberbalg nicht auf einem Gelenke geht, haben eine sehr unsichere Bewegung, wenn sie hoch gehen, besonders wenn man sie etwa ohne Holzfalten und nur von Leder machen wollte; solche Bälge müssen Führungen haben, d. h. ihr oberer Boden muß zwischen Leisten gehen.

Wollte man nun einen solchen Blasebalg selbst anfertigen, so würde das Mittelbrett, Fig. 496, etwa zu einem halben Zoll dick genommen und

Fig. 496.



etwa 1½ — 2 Fuß lang auf 1 Fuß breit. In der Mitte erhält es zwei viereckige Oeffnungen von 2 Zoll Länge und 1 Zoll Breite, welche 1 Zoll Zwischenraum haben, für die Ventile. Es ist immer besser, deren zwei zu machen, als eines von doppelter Größe. Auf einer der langen Seiten brennt man eine Oeffnung *a*, von etwa ¼ Zoll Weite, 1 Zoll tief in das Brett und kommt ihr von der obern Seite durch eine breite Oeffnung *b* entgegen. Das Brett wird dann beiderseits mit Papier beleimt, wenn man nicht etwa zufällig altes Pergament hat. Die Ventile bestehen aus Brettchen, die noch etwas dicker sind, als die zusammengelegten fertigen Falten, damit im Ruhezustande der Deckel des Oberbalgs etwas darauf drücken kann; man kann auch statt eines Brettchens einige Leistchen von der Breite eines halben Zolles nehmen, wodurch alles Werfen verhütet

wird; diese Leistchen werden dicht nebeneinander auf das Leder geleimt. Die Ventile ragen auf 3 Seiten $1/_2$ Zoll über die Oeffnung hinaus, nur an der einander zugekehrten Seite genügt ein Viertelszoll. Ein Stück weißes Schafleder, welches einerseits um etwa $1/_2$ Zoll vorsteht, wird mit der Narbenseite darauf geleimt. Man läßt sie zwischen 2 Brettern eingespannt trocknen, damit sie gerade bleiben; das freie Stück Leder wird auf den Zwischenraum zwischen beiden Ventilöffnungen geleimt und dient zugleich als Gelenkband. Damit sich die Ventile nicht etwa nach innen umschlagen, gibt man ihnen einen Zaum, der aus einem Streifchen Leder besteht, welches verhindert, daß das Ventil sich zu weit öffnet, und doch nicht so lang ist, um sich selbst unter das Ventil legen zu können; doch ist letztere Vorsicht kaum nöthig. Die Falten werden aus liniendickem, mit Papier beleimtem Holze oder auch aus Pappe gemacht und so zugerichtet, daß sie im geschlossenen Zustande an den Ecken noch nicht ganz zusammenstoßen, wie die Figur 496 zeigt; sie werden durch mit der Fleischseite aufgeleimtes, weißes Schafleder vereinigt, das man in den Ecken so groß macht, daß die Falte sich gehörig öffnen kann. Auch mit dem Mittelbrette und dem obern Deckel wird die Falte nur durch aufgeleimtes Schafleder vereinigt, und es ist sehr zweckmäßig, durch zwei vom Mittelbrette an den obern Boden laufende und in beiden verleimte Schnüre zu verhindern, daß sich die Falte je ganz aufspannen kann, wenn dieses nicht schon durch die obere Platte des Tisches oder Kastens geschehen sollte.

Der Schöpfer wird nur um soviel kleiner gemacht, daß einerseits Platz für das Gelenk gewonnen wird. Man macht dieses am einfachsten aus zwei zollbreiten Stücken guten Leders (Büffelleder, wie es zu den Kuppeln des Militärs genommen wird), die man an die beiden Bretter nagelt und die Fuge ebenfalls mit Leder beleimt. Die Ventile des Schöpfers werden ganz gleich gemacht mit jenen des Mittelstücks. Sollte man übrigens einen Orgelbauer zur Hand haben, so dürfte es zweckmäßiger sein, einen Balg von entsprechender Größe bei diesem machen zu lassen, als sich

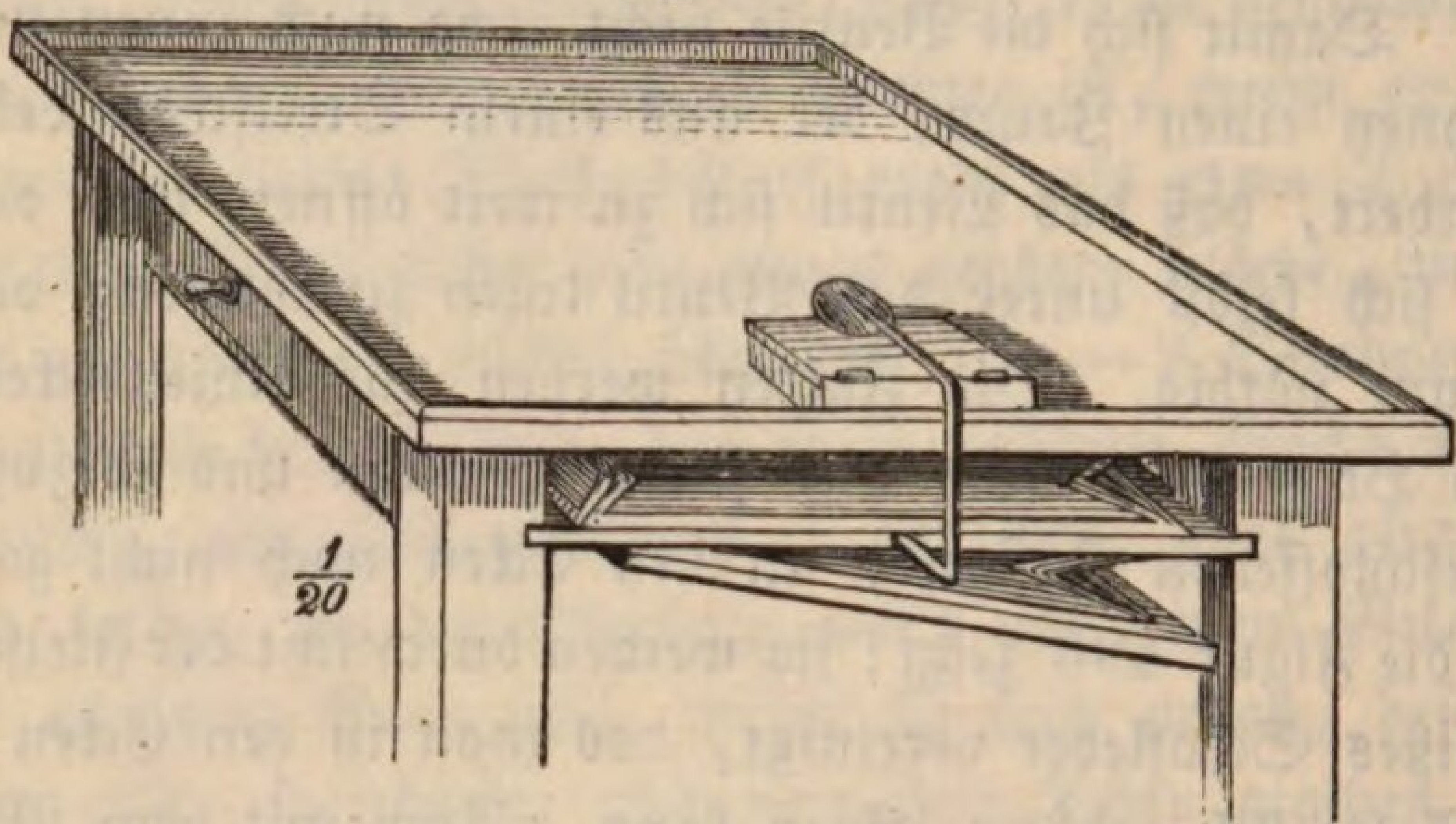
Fig. 497.



hier mit dem Selbstmachen abzugeben. Fig. 497 (a. v. S.) zeigt den fertigen Balg in geöffnetem Zustande.

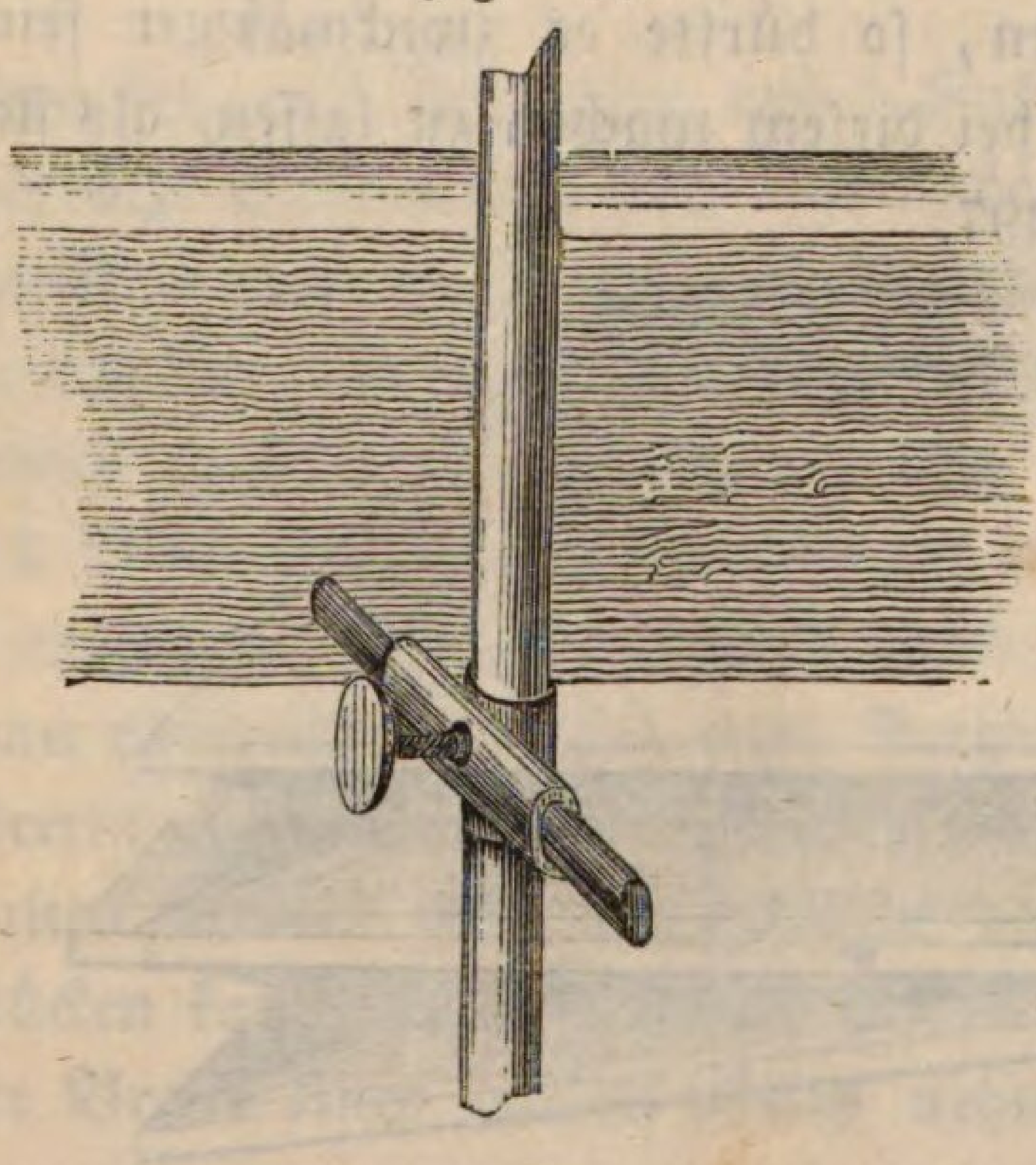
Der Tisch erhält 3 Fuß (9 Centimeter) Höhe, und der Blasbalg wird unmittelbar unter dessen oberer, ringsum mit einem um etwa 2—3 Linien hervorstehenden Rande versehener Platte so angebracht, daß unter demselben noch Raum genug für die Füße des Arbeiters bleibt, Fig. 498.

Fig. 498.



Am Schöpfer läßt man einen vorstehenden Lappen und setzt ihn entweder durch einen am Fuße des Tisches angebrachten Hebel, dessen anderes Ende durch einen Messingdraht mit einem Tritte verbunden ist, oder nur durch den Tritt in Bewegung, indem man von dem Schöpfer durch eine Oeffnung im hervorstehenden Rande des Mittelbrettes einen Draht aufwärts führt, und von diesem eine Saite über eine Rolle, aus der sie nicht heraus kann, zu einem zweiten an den Tritt führenden Messingdraht leitet. Ist der hervorstehende Lappen am Schöpfer lang genug, so kann man die Rolle auf der äußern Seite des Tisches anbringen. Der Blasbalg wird nur in eine Nuthe in zwei Seiten der Zarge eingeschoben und durch eine schiefe Holzschraube etwas befestigt. Die Tischplatte muß fest auf die drei Seiten der Zarge kommen, da sie die vierte Seite zu ersetzen hat.

Fig. 499.



In die Oeffnung des Mittelbrettes wird das etwas konische Ende des Blasrohrs, wie in Fig. 498, nur eingesteckt und gestattet darum eine verschiedene Neigung des ausströmenden Windes gegen die Tischplatte. Die Länge desselben hängt von der Höhe der Lampe ab, wovon sogleich die Rede sein wird. Sehr zweckmäßig ist es, wenn von der Tischplatte etwa ein Zoll langes Stäbchen heraus ragt, an welchem man mittelst einer Druckschraube, wie Fig. 499 zeigt, die eine der zwei rechtwinklicht anein-

ander befestigten Hülsen feststellen und dadurch das Blasrohr in einer unveränderlichen Stellung erhalten kann.

Der Tisch wird nicht länger genommen, als es der Blasbalg erfordert; dagegen kann man ihn etwas breiter nehmen, um hinter dem Balge Raum für ein kleines Schiebfach zu erhalten, in welchem man die nöthigsten Werkzeuge aufbewahren kann Doch es gibt hiezu überall Gelegenheit.

Wählt man keinen besondern Tisch, so kommt der Blasebalg in einen gerade dazu passenden Kasten und wird durch Schrauben mittelst des vorstehenden Mittelbrettes auf zwei Leisten befestigt. Der Schöpfer erhält einen durch einen Schlitz hervorragenden Ansatz, um über eine Rolle weg am Tritte befestigt zu werden; die Vorderwand des Kastens aber wird durchbohrt, um durch sie das Blasrohr einstecken zu können. Im obern Theile des Kastens gibt der zusammengesunkene Blasebalg Raum genug zur Aufbewahrung der Geräthschaften.

Der für das Glasblasen bei kleiner Oeffnung erforderliche Druck erfordert im Mittel 6 Gramm auf den Quadratcentimeter. Man verwendet als Gewicht am besten ein entsprechendes Stück einer alten gußeisernen Platte. Einige verwenden auch Drahtfedern, wie sie in Sessel u. dgl. angewendet werden, von entsprechender Zahl und Stärke. Sie werden auf dem Deckel des Oberbalgs angebracht und stemmen sich gegen die Tischplatte oder den Kastendeckel. Gerade in letzterem Falle sind sie empfehlenswerth, weil dann der Kasten um so leichter wird. Für obige Dimensionen des Blasbalgs werden zwei Federn ausreichen. Für größere Arbeiten, also für eine weitere Oeffnung muß der Druck gewöhnlich verstärkt werden; in diesen Fällen wird der Oberbalg stets voll erhalten und der Wind durch den Fuß in beliebiger Stärke hervorgetrieben. Darum ist es gut, einen etwas großen Schöpfer zu haben. Der Druck steigt hiebei bis auf 12—15 Gramm auf den Quadratcentimeter.

Die Lampe. Man läßt dieselbe aus Blech machen und gibt ihr in 287
der Richtung des Blaserohrs eine nur geringe Breite, oder versetzt wenigstens die Flamme an das Ende. Am besten ist es, wenn man da, wo die Flamme hinkommt, eine Röhre einsetzt, in welcher sich ein massiver Draht auf- und niederschrauben läßt, Fig. 500, 501. Die Röhre muß natürlich geschlitzt sein, damit das Oel zum Docht treten kann. Die Bewegung des Dochtes

Fig. 500.

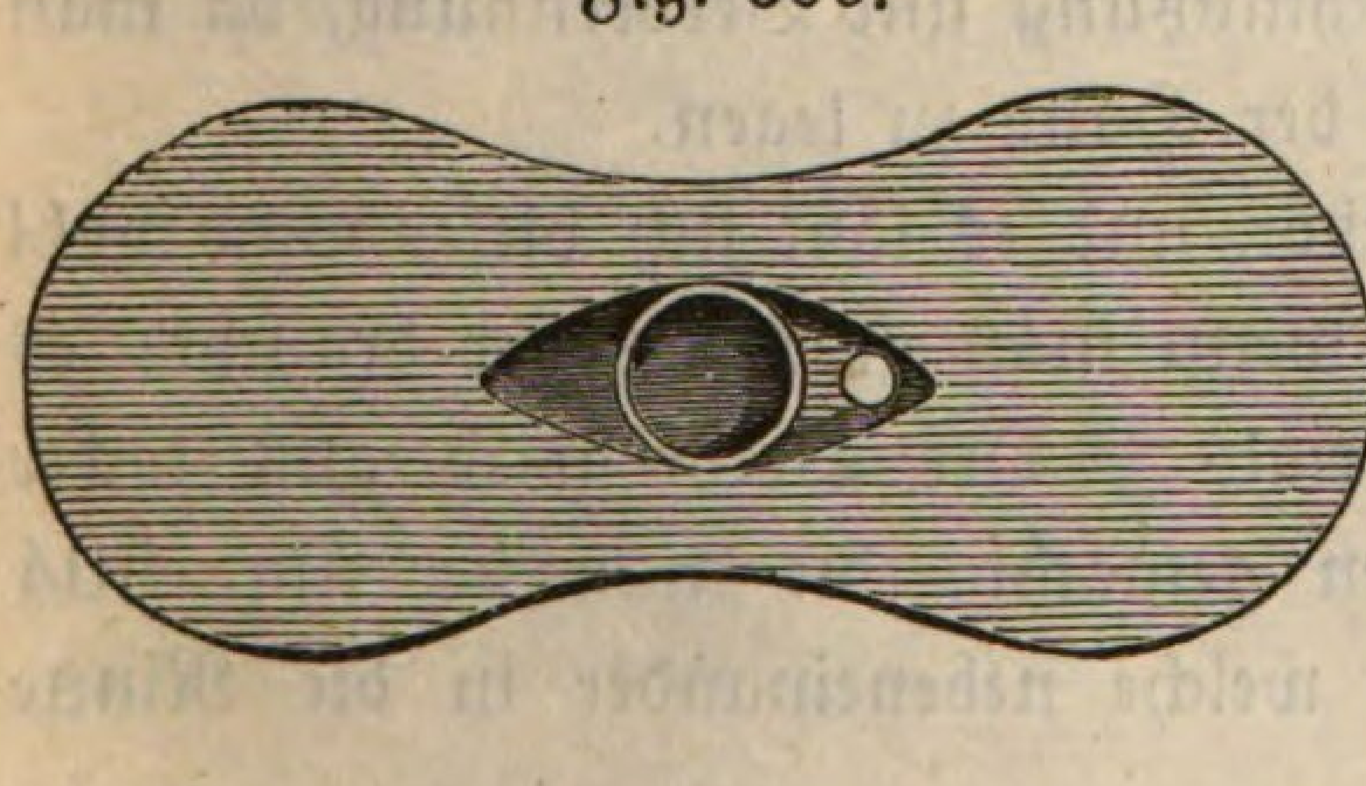
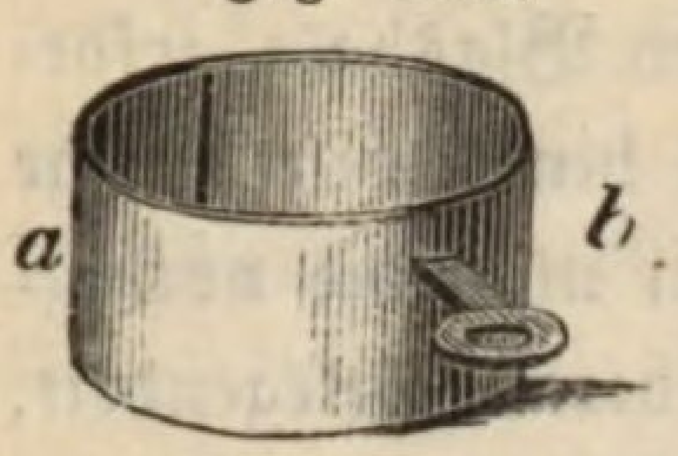


Fig. 501.



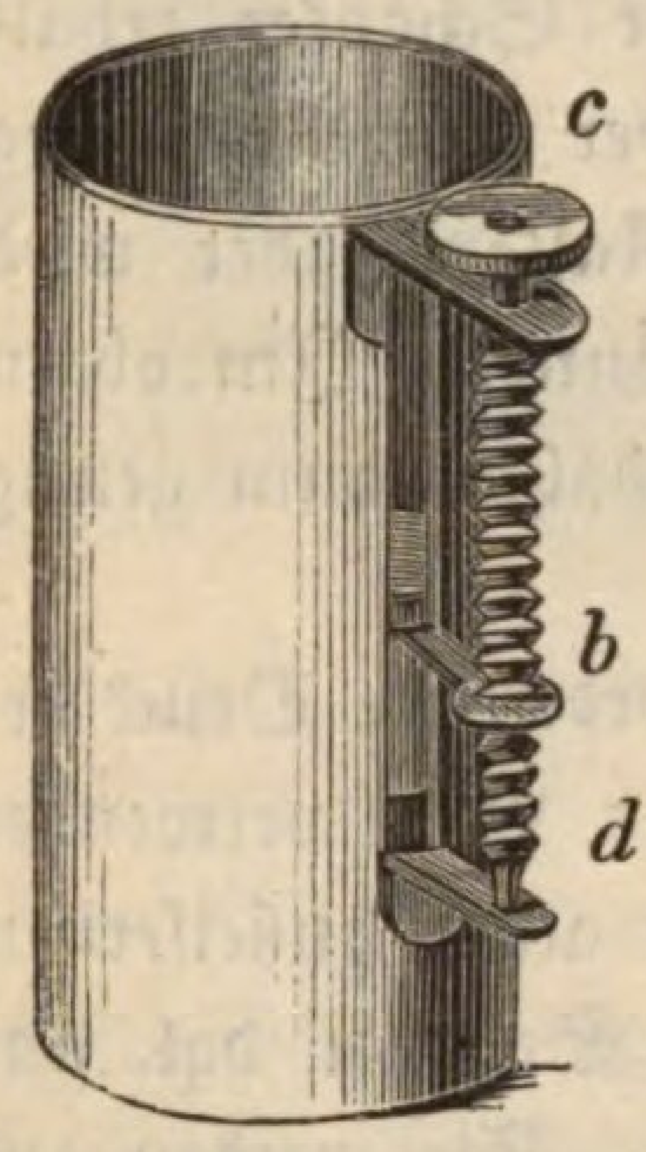
geschieht sehr einfach auf die in Fig. 502 und 503 dargestellte Weise, wo

Fig. 502.



der Docht in die federnde Hülse *a*, Fig. 502, gesteckt wird, von der ein Stiel *b* durch den Schlitz der Röhre, Fig. 503, heraustritt; der Stiel ist von Blech und durch ihn geht die tiefgängige Schraube *c d*, für die das Blech einen einzigen Muttergang bildet. Zwei an die Dochtröhre angelöthete Blechstreifen bilden die Stützpunkte dieser Schraube, und der Tisch hat eine entsprechende Vertiefung für den unter die Lampe herabragenden Theil dieser Röhre. Letzteres gestattet die Anwendung eines längeren Dochtes, also eine seltenere Erneuerung, ohne daß der Oelstand zu tief sinkt, was bei einer durchweg höheren Lampe der Fall wäre, wenn man sie ausbrennen wollte, und ist daher keine nothwendige Sache. Wenn der Kopf der Schraube *c d* ein kleines Loch nahe am Umfange hat, so kann man dieselbe durch ein hineingestecktes Eisenstäbchen, deren doch immer einige auf dem Blastische sind, ganz bequem und schnell drehen, wenn sie auch heiß werden sollte.

Fig. 503.



Eine einfachere Einrichtung der Lampe zeigen Fig. 504 und 505, wo

Fig. 504.

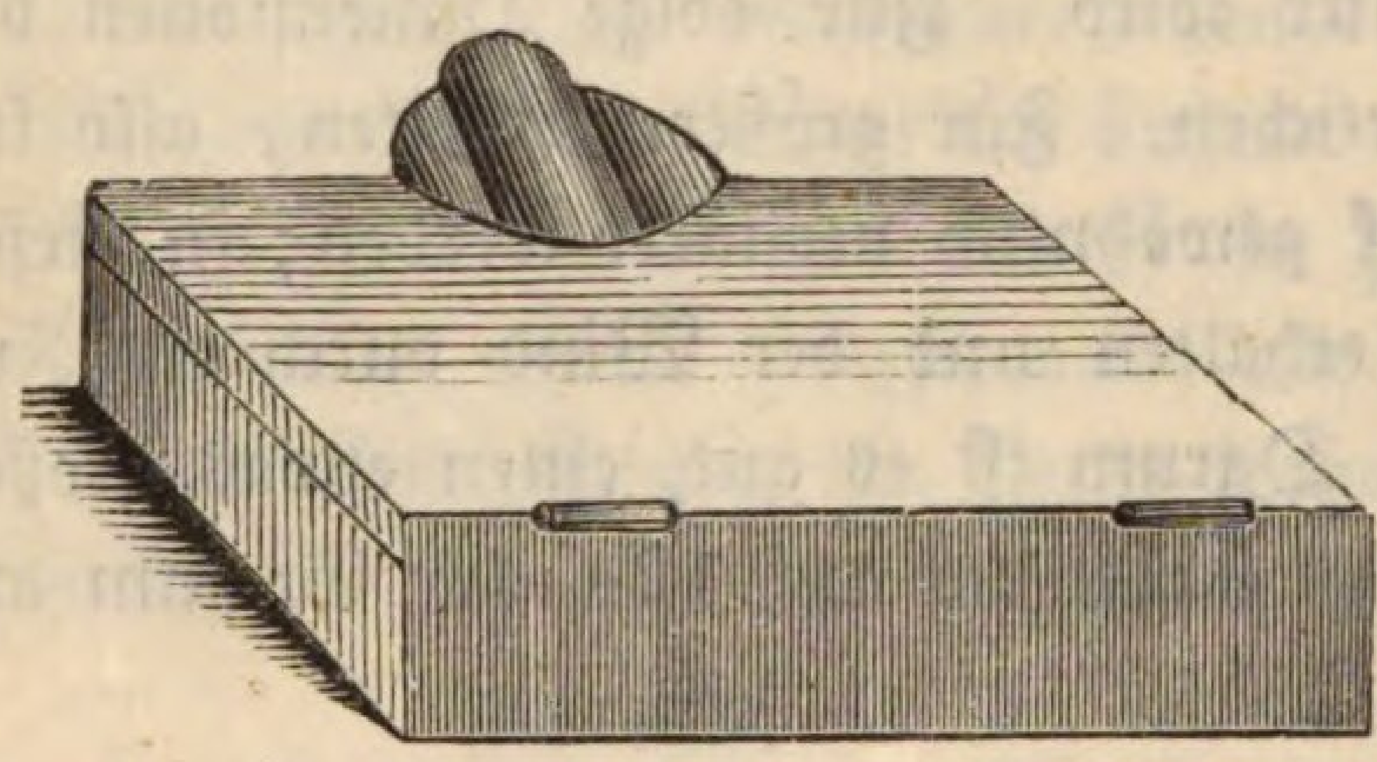
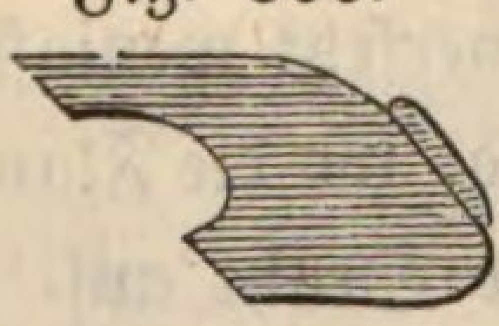


Fig. 505.



Fig. 506.



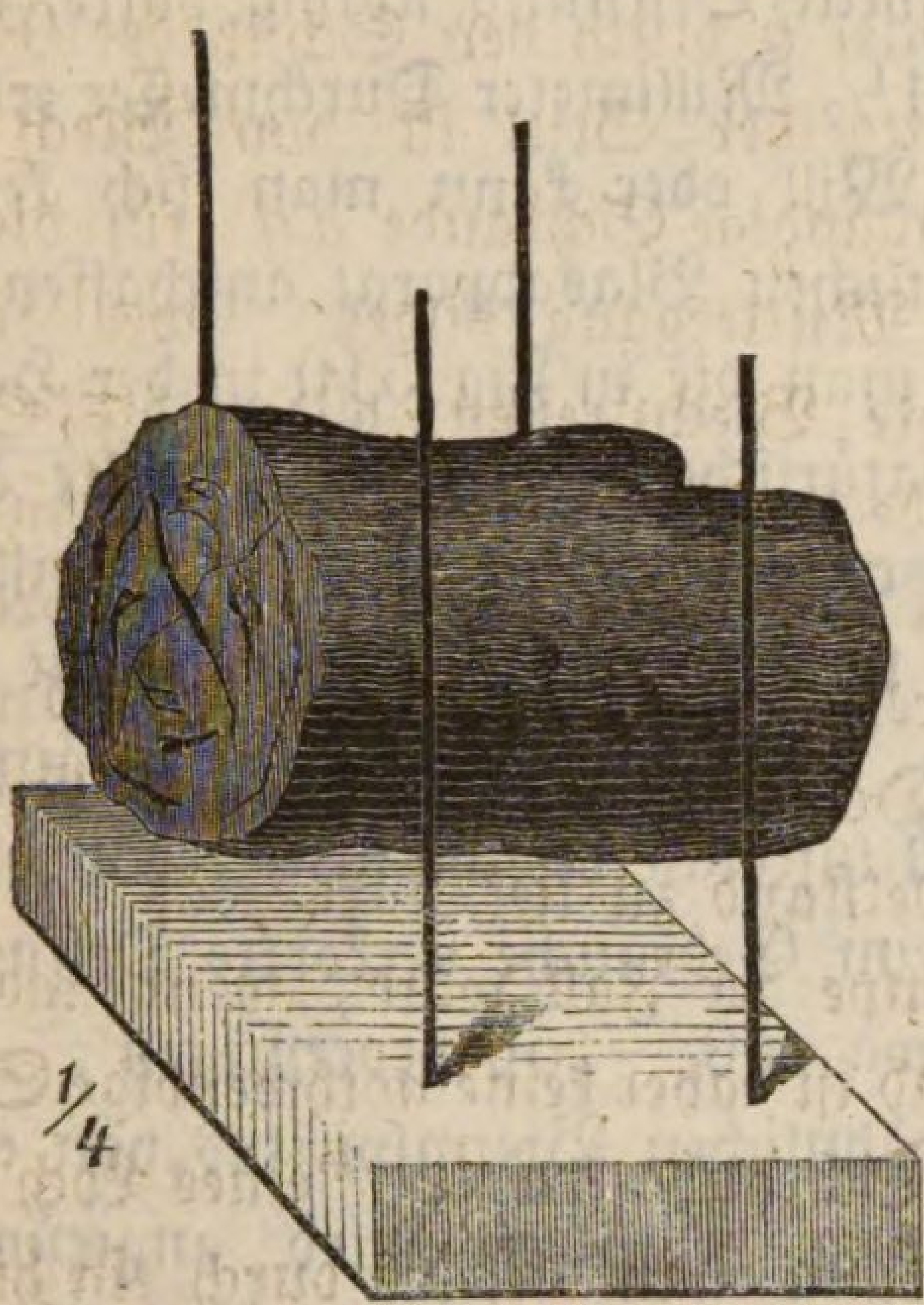
der Draht einfach auf eine Blechrinne gelegt wird und das Rückwärtsbrennen nach Belieben durch das Blech, Fig. 506, verhindert werden kann, welches man auf dem Deckel der Lampe gegen den Docht vorschiebt.

Sehr zweckmäßig ist es, die Lampe auf ein quadratisches Blech von etwa einem Fuß Seite zu stellen, das mit einem aufgebogenen Rande versehen ist; es schützt den Tisch vor Beschmutzung und Verbrennung, da man oft genöthigt ist, heiße Glasstücke aus der Hand zu legen.

288 Als Brennmaterial dient Rüböl, und es läßt sich dieses nicht wohl durch ein anderes Material ersetzen, wenn man großes Feuer braucht; es ist auch das wohlfeilste Brennmaterial. Der Docht wird aus locker zusammengedrehten Baumwollendochten gemacht, die man bei Fig. 504 in zwei leicht geflochtene Zöpfe flicht, welche nebeneinander in die Rinne

zu liegen kommen. Für runde Dochte führt man die Baumwolle am besten in einen hohlgewobenen Lampendocht von entsprechender Weite.

Fig. 507.



Wenn man nur etwas starkes Feuer nöthig hat, so ist es sehr vortheilhaft, zwischen vier auf ein Brettchen gesteckte Drähte, Fig. 507, ein etwa 2 Zoll dickes Stück einer buchenen Astkohle zu stecken und mit der Hirnseite gegen das Feuer zukehren, wo dann die strahlende Wärme der glühenden Kohle die Hitze ungemein verstärkt. Gerade darum ist es auch unzweckmäßig, die Dochtseite einer Lampe, wie Fig. 504 gegen den Arbeiter zu kehren, und die Flamme über die Lampe hin zu blasen, ganz abgesehen davon, daß man dadurch an Arbeitsraum für gebogene Stücke verliert.

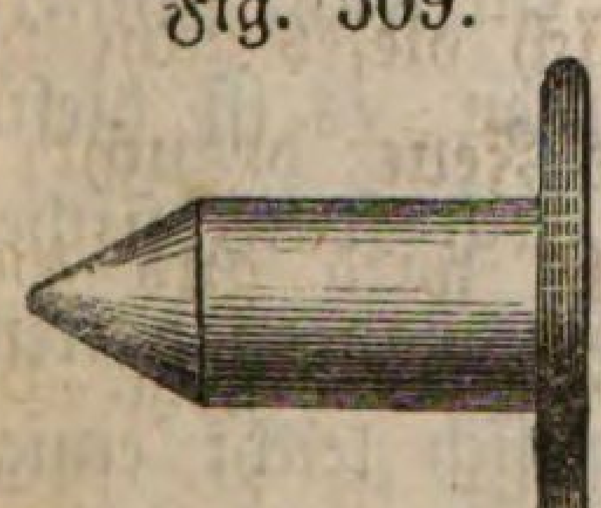
So vortheilhaft Oel in jeder Beziehung ist, wenn man fast täglich die Lampe braucht, so hat es für den Physiker, bei dem dieses oft Monate lang wieder nicht vorkommt, den Nachtheil, daß dann Alles verharzt ist. Für diesen ist es daher, seltenere Fälle abgerechnet, vortheilhafter, die ohnehin immer parate Weingeistlampe mit vollem runden Docht anzuwenden; sie gibt für das Biegen auch starker Glasröhren, das Aufblasen von Thermometerkugeln u. dergl. hinreichende Hitze, wenn sie einen Docht von etwa einem Centimeter Durchmesser hat, besonders, wenn man sich noch der eben erwähnten Kohle bedient.

Das Blasrohr muß etwa 2—$1\frac{1}{2}$ Linien im Lichte weit sein und 289
läuft gegen das Ende etwas verjüngt zu, wo es dann durch ein ebenes Plättchen verschlossen wird, in dessen Mitte die Blasöffnung gebohrt wird. Letztere muß 1—$1\frac{1}{2}$ Millimeter weit sein, und darf, wenn man sehr großes Feuer braucht, wohl 2 ja 3 Millimeter erreichen, Fig. 508. Wenn man aber auf kleine Stellen Feuer geben soll, so muß man noch eine zweite Spitze, Fig. 509, haben, deren Oeffnung nur etwa $\frac{1}{2}$—1 Millimeter beträgt, und die man auf das Blasrohr nur aufsteckt. Blasrohr und Spitzen werden vom Gürtler aus Messingblech gefertigt und hart gelöthet. Die Zuleitung kann von Blei sein.

Fig. 508.



Fig. 509.

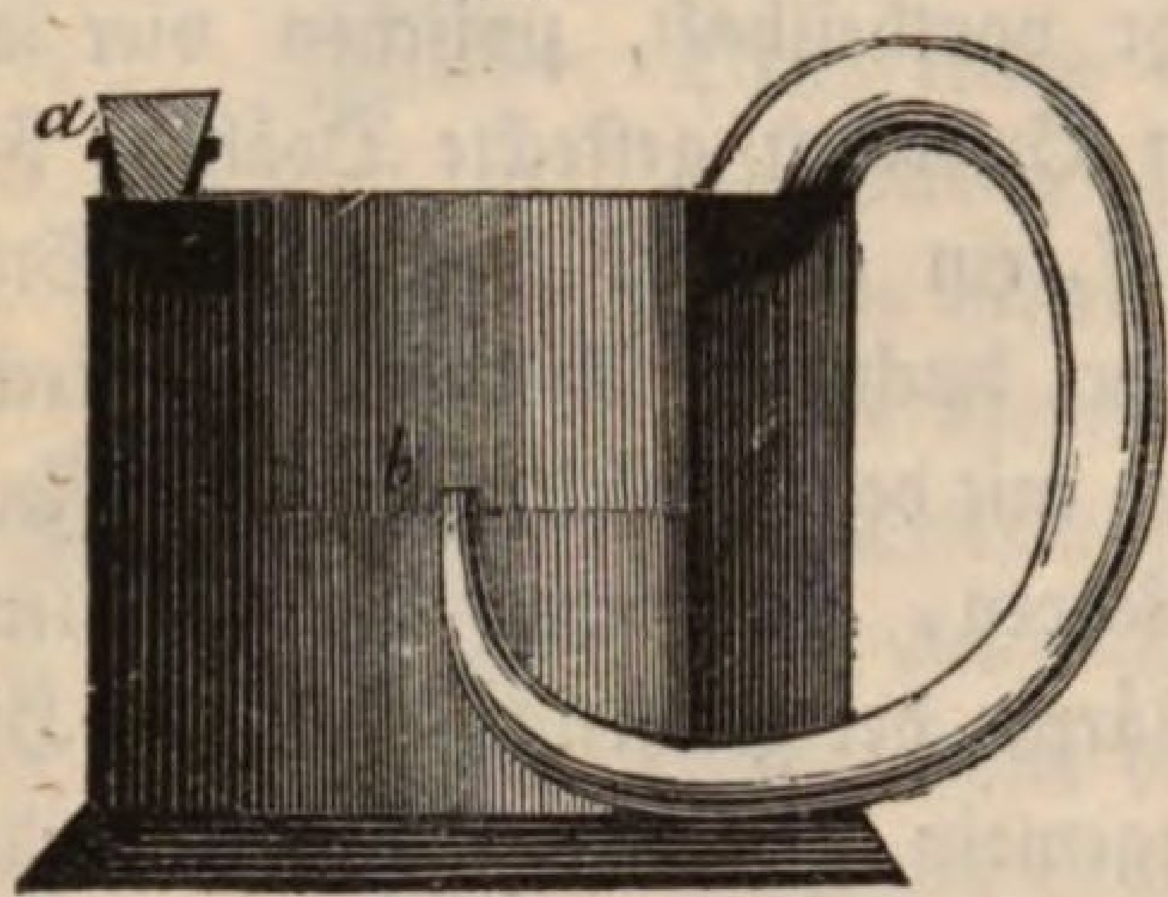


Ein Hahn im Blasrohr, um den Wind rasch abschließen oder nach Belieben vermindern zu können, ist

eine Bequemlichkeit, ohne die aber selbst Glasbläser von Profession fortkommen. Für besondere Zwecke kann man sich ein weiteres Rohr aus Glas biegen, namentlich, wenn man eine sehr weite Oeffnung nöthig hätte, weswegen die gewöhnliche Oeffnung höchstens $1\frac{1}{2}$ Millimeter Durchmesser erhält.

290 Will oder kann man sich keinen ordentlichen Blasapparat anschaffen, so kann man die in Fig. 510 in der Hälfte der natürlichen Größe dargestellte Aeolipila von jedem Blechner um sehr billiges Geld machen lassen. Sie besteht aus einem doppelten Gefäße; das äußere, überall luftdicht verschlossene erhält durch die beim Gebrauche verkorkte Oeffnung *a* etwa 40 — 50 procentigen, also verdünnten Weingeist, und das innere gewöhnlichen Brennspiritus von etwa 70 Procent bis zur Höhe der Blaseöffnung. Letzterer wird angezündet, worauf dann der äußere ins Sieden geräth und der durch das Rohr *b* entweichende Dampf eine sehr kräftige Flamme gibt. Die Oeffnung *a* kann auch seitwärts angebracht sein, und ein Deckel, der in die innere Höhlung paßt, dient zum Verschließen.

Fig. 510.



291 An Werkzeugen zum Glasblasen bedarf man weiter nur einer kurzen scharfen Scheere zum Beschneiden des Dochts, einer guten englischen dreikantigen Feile mit Schlichthieb von etwa 4—5 Zoll Länge, zum Abschneiden der Glasröhren einer kleinen flachen Drahtzange mit schmalen Backen und einiger eisernen Stäbchen von etwa $\frac{1}{2}$—1 Linie Dicke.

292 Das Abschneiden der Glasröhren und Stäbe, welche nicht über 3 — 4 Linien dick sind, geschieht einfach dadurch, daß man einen Feilstrich an der Stelle macht, wo die Trennung erfolgen soll, sodann die Glasröhre mit beiden Händen faßt, die Daumen ziemlich nahe bei einander und dem Striche gegenüber aufsetzt und den Bruch versucht; es geht in der Regel leicht und eben. Dickere Röhren feilt man ringsum und berührt sie an einer Stelle mit einem glühenden Eisen, oder behandelt sie mit der Sprengkohle. Letzteres ist besonders dann zu empfehlen, wenn nur ein kurzes Stück abgenommen werden, oder nur das schon gesprungene Ende einer Röhre entfernt werden soll. Hierüber ist das Nähere bereits bei Gelegenheit der Galvanoplastik angegeben.

293 Was die Wahl des Glases betrifft, so muß man auf ein leicht schmelzbares Glas, also auf ein bleihaltiges Glas Rücksicht nehmen; es ist hiefür besonders französisches Glas zu empfehlen, namentlich auch französisches Natronglas. Da übrigens alle Glashändler französische Glaswaaren halten, und gewöhnlich direct mit Paris verkehren, so kann man sich leicht einige

Pfund Glasröhren von dorther kommen lassen; sie werden nicht viel theurer zu stehen kommen als andere, und gewähren noch den Vortheil, daß sie eine sehr gleichförmige Dicke haben.

Indessen bekommt man auch anderwärts sehr gute Röhren, und es gibt da und dort Fabriken, welche sogenannte französische gepreßte Glaswaaren machen, und also ebenfalls Röhren liefern, und zwar bessere als andere Fabriken, da sie gewöhnlich auch im Allgemeinen geübtere Arbeiter besitzen.

Andere Glassorten sind theils schwerer, theils, wie z. B. das böhmische, vor der Lampe beinahe gar nicht zu verarbeiten; ist das Glas aber zu stark bleihaltig, so wird es vor der Lampe gern etwas gelb. Glasbläser von Profession vermeiden daher solche Gläser, da sie auch auf andere die erforderliche Hitze zu bringen wissen.

Soll wirklich gearbeitet werden, so zündet man an, und rückt den 294
Docht so hoch, daß er eine an 3—4 Zoll hohe Flamme gibt, theilt ihn mit der Scheere in zwei Theile, entfernt mit derselben alle hervorstehenden oder herabhängenden Stücke des Dochts und richtet das Blasrohr zwischen die beiden Theile des Dochts, und zwar etwas in die Flamme hinein, wenn man eine spitzige ruhige Flamme will, also vorzüglich bei der kleinern Oeffnung, oder etwa eine Linie vor die Flamme, wenn man eine Brauseflamme will, für größere Gegenstände.

Die Flamme muß jedenfalls eher etwas nach oben als nach unten gerichtet werden, ein weißes etwas bläulichtes Licht geben, über zwei Zoll lang sein und keinen Ruß absetzen. Diese Kennzeichen einer guten Flamme wird man erst nach einigem Rücken und Drücken am Docht oder dem Blaserohr erreichen und anfänglich vielerlei Anstände finden, wenn man nur die zum Aufblasen einer kleinen Kugel erforderliche Hitze hervorbringen soll. Mit einiger Geduld wird man aber bald die erforderliche Uebung erlangen. Das zu erhitzende Glas wird etwa auf zwei Drittheile der Flammenlänge vom Docht entfernt in die Flamme gehalten, muß aber vorher, besonders wenn es etwas dick ist, in größerer Entfernung langsam erwärmt werden, indem man es drehend schnell vor der Flamme hin und her führt, wenn es auch hiebei etwas berußt würde; der Ruß brennt schon wieder weg.

Feucht darf das Glas nicht sein, und man muß sich daher durchaus davor hüten, in eine beiderseits offene Glasröhre hineinzublasen; aus engen Röhren kann man die Feuchtigkeit gar nicht mehr heraus bringen.

Während der Erhitzung wird das Glas fleißig gedreht, um ein allseitig gleiches Glühen hervorzubringen; hiebei hat man besondere Vorsicht nöthig, wenn das Glas mit beiden Händen gehalten wird, da man es in diesem Falle leicht verdreht, wenn es anfängt weich zu werden und beide Hände ungleich arbeiten. Nach vollendeter Arbeit hält man das Glas noch einige Zeit unter fortwährendem Blasen über die Flamme und entfernt es

langsam der Verkühlung wegen, denn sonst springt das Glas leicht, besonders wenn etwa verdickte Stellen entstanden sind, oder absichtlich gemacht wurden. Hat man aber etwa ungleiche Glassorten an einander geschmolzen, so nützt in der Regel alles Verkühlen nichts, die Arbeit springt; es ist darum rathsam, die Glasröhren von derselben Glassorte stets gesondert aufzubewahren.

295 Was nun die einzelnen Arbeiten des Glasblasens selbst betrifft, so kann hier nur von jenen die Rede sein, welche gleichsam die Elemente der übrigen bilden, und häufig vorkommen, keineswegs aber von der Anfertigung besonderer Instrumente, wie der Aräometer u. dergl., welche man viel besser dem Mechaniker oder dem Glasbläser von Profession überläßt. Es gehören demnach hierher: a) das Erweitern und Verengern der Röhrenenden; b) das Ausziehen und Aufstauchen des Glases, c) das Zuschmelzen; d) das Biegen der Röhren; e) das Aufblasen von Kugeln, f) das Zusammensetzen der Röhren.

a) Abgeschnittene Glasröhren haben einen scharfen Rand, was leicht Beschädigung der Finger nach sich zieht und auch das Ausspringen des Randes beim Anstoßen veranlaßt. Man bringt dieselben daher in eine Spitzflamme und erwärmt den Rand nach und nach ringsum bis zum Schmelzen desselben, wobei sich die Ecken von selbst abrunden, wobei aber auch gerne die Oeffnung derselben sich ein wenig verengert, was aber gerade für solche Röhren, welche fest durch Kork gehen sollen, vortheilhaft ist. Sind die Röhren nur dünnwandig, wie sie meist für chemische Zwecke angewendet werden, so kann diese Arbeit kurzweg an der Weingeistlampe mit dem Löthrohre gemacht werden. Soll aber die Oeffnung der Röhre gleich bleiben oder gar erweitert werden, so muß man sie unter rascherem Drehen einem stärkern Feuer aussetzen und noch im Feuer durch einen darin herumgeführten Eisendraht konisch erweitern, worauf man sie unter erneutem Erhitzen bei rascher Drehung wieder auf das gewünschte Maaß einsinken läßt.

b) Das Ausziehen, Verengern und Aufstauchen der Glasröhren. Soll eine Röhre an einer Stelle dünn ausgezogen werden, so hält man sie mit beiden Händen horizontal und erhitzt sie auf eine breite Strecke; ist sie ringsum gleichförmig erhitzt, so zieht man sie außer dem Feuer beliebig weit auseinander; soll sie in einen dünnen Faden ausgezogen werden, so muß man ziemlich rasch ziehen. War die Glasröhre dünnwandig, so ist es zweckmäßig, sie unter recht gleichförmiger Erhitzung zuerst etwas zusammensinken zu lassen, wodurch die Oeffnung enger und die Wand stärker wird, wo dann auch die ausgezogene Spitze trotz sehr enger Oeffnung noch eine gewisse Stärke behält. Soll an einer Stelle die Glasmasse mehr angehäuft werden, ohne daß eine Verengerung eintritt, so schiebt man die sehr erhitzte

Röhre von beiden Seiten zusammen; da aber hier gewöhnlich auch eine Verengerung eintritt, so muß man das eine Ende verschließen und die gehörige Weite der Röhre durch Aufblasen wieder herstellen.

c) Um eine Röhre an ihrem Ende zu verschließen, wird sie erhitzt, und man schiebt die weichen Wände durch ein Eisenstäbchen oder ein Stück einer Thermometerröhre zusammen. Dabei häuft sich am Ende die Glasmasse an, was beim Erkalten gerne Sprünge veranlaßt. Man erhitzt deswegen das Ende, setzt eine ebenfalls erhitzte Thermometerröhre daran und zieht mit dieser die überflüssige Glasmasse in einem Faden ab, was man vielleicht noch ein oder zweimal wiederholen muß. Zuletzt erhitzt man das Ende der Röhre selbst etwas stärker und bläst die zugeschmolzene Stelle halbkugelförmig auf.

Soll eine Röhre an einer erst abzuschneidenden Stelle zugeschmolzen werden, so zieht man sie hier in einen Faden aus, bricht diesen kurz ab und hält das Ende ins Feuer, wo es rasch zuschmilzt; das dadurch sich bildende Glasknöpfchen wird, wie schon erwähnt, mittelst einer darangesetzten spitzigen Thermometerröhre abgezogen. Röhren mit feiner Oeffnung — wie Thermometerröhren — braucht man überhaupt nur am Ende zu erhitzen, um sie zu verschließen; sie werden nicht aufgeblasen.

d) Das Biegen der Glasröhren ist eine sehr häufig vorkommende Arbeit. Röhren mit dünnen Wänden werden aber auf der bloßen Weingeistlampe ohne Gebläse erhitzt. Eine gut gebogene Glasröhre muß ihre Schenkel in derselben Ebene haben und im Buge weder an der convexen Seite eingesunkene Stellen noch an der concaven Aufstauchungen zeigen. Man vermeidet dieses am besten, wenn man die Röhren nicht in einem scharfen Winkel, sondern in einem Bogen biegt, wobei dieselben an jeder Stelle nur wenig gebogen werden. Die concave Seite wird stets etwas stärker erhitzt. Haben sich dennoch eingesunkene Stellen gebildet, so kann man dieselben etwas aufblasen. Röhren von einem halben Zoll und darüber innerer Weite werden über Kohlenfeuer gebogen, wobei man dieselben mit Sand füllt.

e) Das Aufblasen von Kugeln. Soll am Ende einer Röhre eine Kugel aufgeblasen werden, so muß dieselbe zuerst gestaucht werden, um an der aufzublasenden Stelle mehr Glasmasse anzuhäufen. Am leichtesten geht dieses vor dem Abschneiden der Röhre und wird bei weitern Röhren immer vorher vorgenommen, worauf man die Röhre erst abzieht, verschließt und das Ende abrundet. Bei engen Röhren — Thermometerröhren — kann man das verschlossene Ende durch eine daran gesetzte andere Röhre oder durch ein Eisenstäbchen zusammenschieben; es wird aber hiebei nothwendig, von Zeit zu Zeit in die Röhre zu blasen, weil sich sonst die Röhre vom Ende her zu weit verschließt, und man genöthigt wird, wieder einen

Theil des Glases in Fäden abzuziehen, wie es unter c angegeben ist. Sehr enge Thermometerröhren verschließt man manchmal auch am andern Ende und erwärmt sie etwas in ihrer ganzen Länge, um durch die Ausdehnung der Luft die Oeffnung beim Stauchen zu erhalten, und sogar ein Wenig aufzutreiben.

Ist die Glasmasse gehörig vorbereitet, so erhitzt man unter fleißigem, stetem Drehen nach derselben Richtung das zur Kugel bestimmte Ende bis zur hellen Rothglühhitze, oder bis zum Weißglühen, faßt Athem, nimmt die Röhre in den Mund, hält sie senkrecht abwärts und bläst die Kugel etwas auf, wodurch sich die Glasmasse schon gleichförmiger vertheilt; sie wird nun ein zweitesmal erhitzt und dann erst bis zur erforderlichen Größe aufgeblasen, wobei man anfänglich schwach, später aber, wie das Glas kälter wird, immer stärker bläst. Dieses zweimalige Blasen ist beinahe unerläßlich, wenn die Kugel schön rund und gleichförmig dick im Glase werden soll. Bläst man beim zweitenmale anfänglich zu stark, so wird die Kugel gerne zu groß oder platzt wohl auch, wobei die davon fliegenden Glashäutchen so dünne sind, daß sie die schönsten Newton'schen Farben zeigen. Man wird bei den ersten Versuchen diese Vorsicht sehr überflüssig finden, da man anfänglich meist nicht Hitze genug aufbringt, um nur die Kugel gehörig aufblasen zu können, allein später wird sich dieses schon anders gestalten.

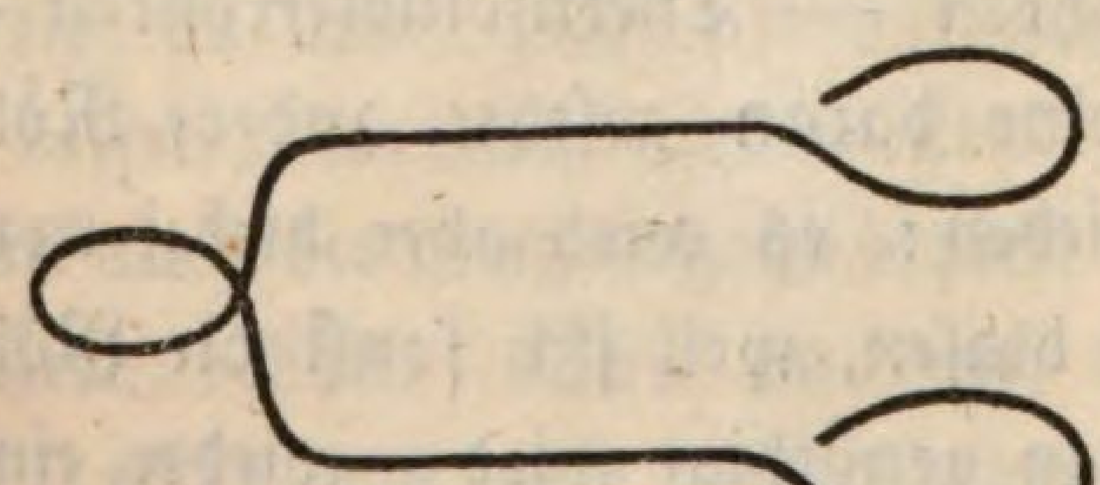
Fig. 511.



Will man größere Kugeln, wie die in §. 71 angeführten, blasen, so nimmt man Glasröhren, die etwa $1^1/_2$ bis 2 Linien im Lichte haben, zieht sie zuerst nach dem Stauchen beiderseits wie Fig. 511 aus, verschließt sie an der Spitze und bläst sie nun sehr dünn auf; nach dem Aufblasen hält man sie seitwärts an die Flamme, um sie platt werden zu lassen, wie Fig. 84, worauf man sie in eine dünne Spitze von der Röhre abzieht. Man faßt sie nun nach dem Erkalten an der daran befindlichen Röhre und bringt die Spitze rasch in die Flamme, um dieselbe zuzuschmelzen, ohne daß die Kugel selbst erwärmt, also ohne daß die darin enthaltene Luft ausgedehnt wird.

Sogenannte Glasbomben werden behandelt, wie die eben erwähnten Kugeln, nur läßt man sie rund und faßt sie nach dem Abbrechen mit einer aus dünnem Drahte gemachten Zange, wie Fig. 512, erhitzt sie über der Flamme von allen Seiten ziehmlich stark, doch nicht so weit, daß das Glas weich wird, und schmilzt dann die sehr fein ausgezogene Spitze rasch zu. Sie geben einen Knall, wenn man sie auf den Boden wirft.

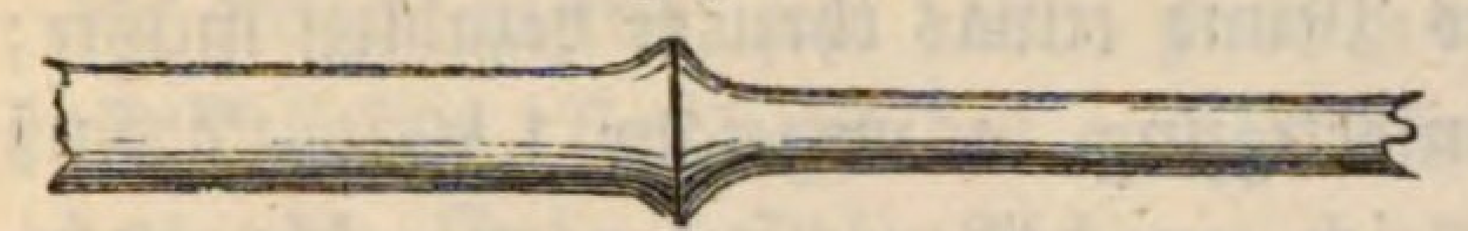
Fig. 512.



Für Kugeln mit einem Henkel, wie die in §. 53 erwähnten, muß man mehr Glas aufstauchen, da sie stark werden sollen, auch darf man den Hals zwischen Kugel und Röhre nicht geradezu ausziehen, sondern muß hier die Röhre erst stark einsinken lassen, damit dieser Theil stärker wird, weil er später den Henkel bilden muß. Die Umbiegung zum Henkel macht man nach dem Abscheiden durch ein Eisenstäbchen.

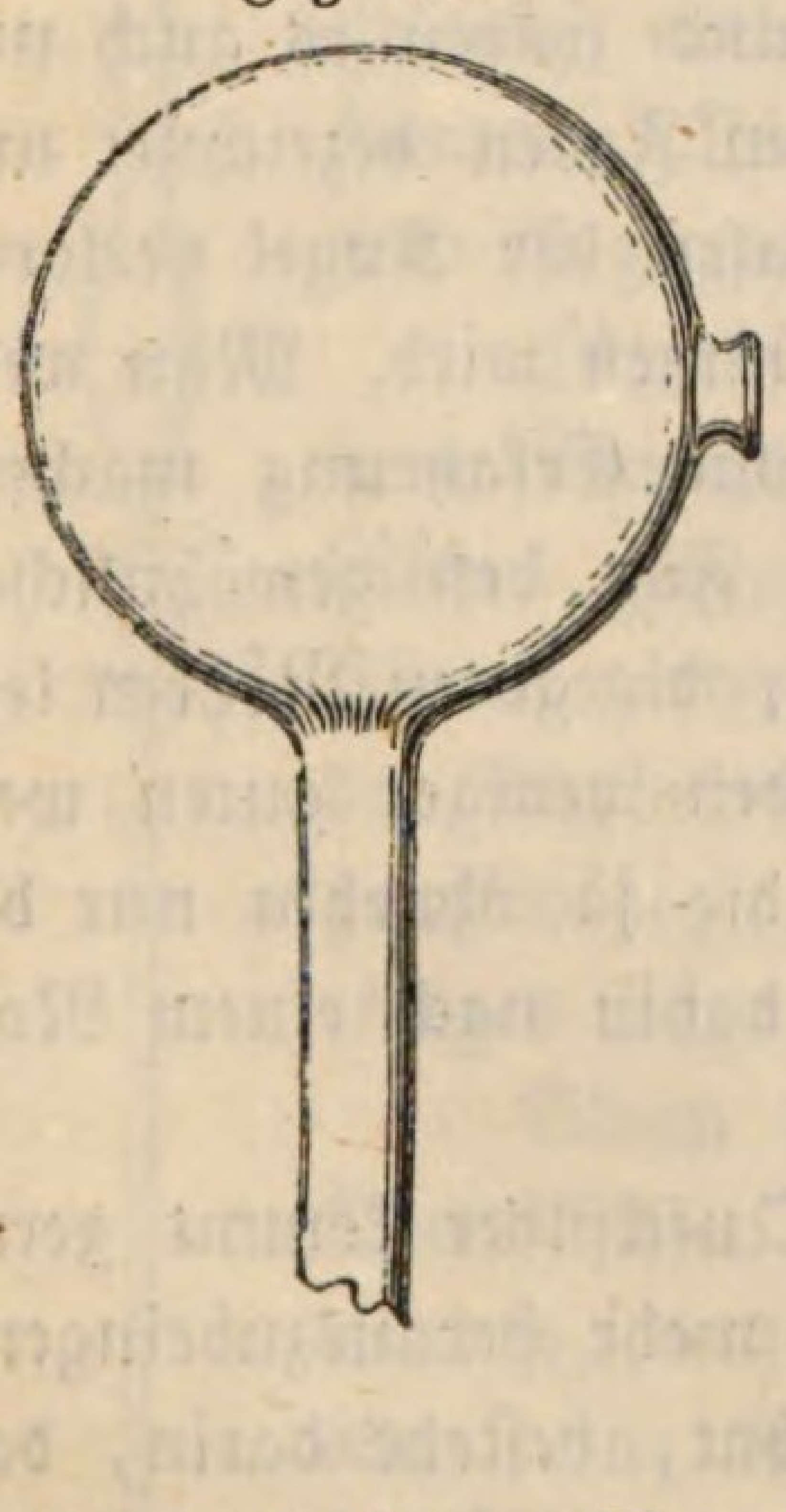
f) Sollen zwei Röhren an einander gesetzt werden, so müssen deren Oeffnungen gleich sein oder durch Erweiterung der engern gleich gemacht werden; die Ränder müssen eben sein und gut zusammen passen; eine der Röhren wird am andern Ende verschlossen. Die Ränder werden sodann an einander gehalten, wie Fig. 413 zeigt, und einer starken Flamme ausgesetzt; sind sie ringsum vereinigt und die Verbindungsstelle recht erhitzt, so bläst man schwach in die Röhre, um die Fuge etwas aufzutreiben; hierauf erhitzt man wieder, wobei der Wulst etwas einsinkt, und bläst ihn wieder schwach auf, was man so lange wiederholt bis die Schweißstelle glatt ist, und sich die beiden Gläser gut in einander verzogen haben, worauf man sie zuletzt auf die gewünschte Dicke einsinken läßt, und allenfalls, wenn nöthig, auf diese staucht oder streckt. Ohne dieses wiederholte Aufblasen springen die Röhren nach dem Erkalten leicht an der Vereinigungsstelle.

Fig. 513.



g) Das Eröffnen von Kugeln und Röhren. Oefter kommt der Fall vor, daß man an einer Kugel oder Röhre eine seitliche Oeffnung haben sollte, wie in Fig. 514. Man setzt für diesen Zweck eine etwas dünne, stark erhitzte Thermometerröhre an die betreffende Stelle, die man schwach erhitzt, und zieht dann mittelst der Röhre die Kugel, nachdem man sie auf dieser Stelle etwas stärker erhitzt hat, in eine Spitze aus, welche sodann abgebrochen und an der Spitzflamme mit abgerundeten Rändern versehen wird, wobei man ihre Oeffnung mittelst eines Eisenstäbchens regulirt und wohl auch einen Glasfaden zur Verstärkung des Randes darum legt. Letzteres geschieht so, daß man ein dünnes spitziges Glasstäbchen glühend macht, mit seiner Spitze am Rande der Oeffnung anschmelzt und nun die Spitzflamme auf den der Spitze zunächst gelegenen Theil richtet, den man allmälig zum Faden auszieht, und den Faden, wie er sich bildet, an den Rand der Röhre anlegt; eine vollkommnere Verschmelzung des Randes mit dem Faden wird nachher noch vorgenommen.

Fig. 514.



Soll die Röhre oder Kugel nur eine feine seitliche Oeffnung haben, so kann man die Stelle an der Spitzflamme erwärmen und aufblasen, sie bekommt leicht eine kleine Oeffnung, die man durch nachheriges Glühen noch verändern kann. Bedarf man übrigens nur einer Oeffnung und nicht auch zugleich an dieser einen ausgezogenen Rand, so bohrt man dieselbe lieber auf die in §. 69 angegebene Weise oder mittelst des Diamants, wenn es die Stärke der Wand zuläßt.

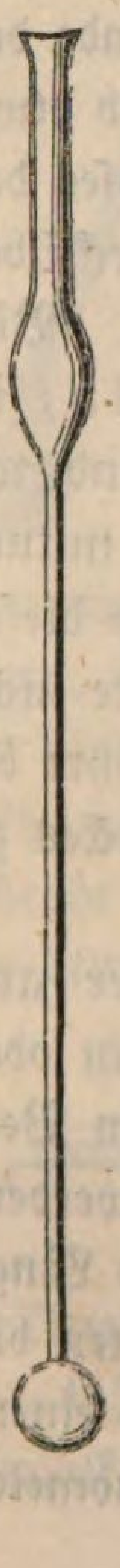
296 **Verfertigung von Thermometern.** a) Wahl der Glasröhren. Man bezieht dieselben von den Glashütten und läßt sich aus den 15—20 Fuß lang gezogenen Röhren nur die mittleren 5—6 Fuß senden, wenn man von diesen auch das Pfund etwas theurer bezahlen müßte; sie werden unmittelbar nach der Anfertigung in ungefähr 1½—2 Fuß lange Stücke zerschnitten und sogleich an beiden Enden zugeschmolzen. Glasröhren mit flachem Kanale haben für den gewöhnlichen Gebrauch der Thermometer leicht erkennbare Vorzüge, allein wo es sich um Anfertigung eines genauen Thermometers handelt, würde ich stets die runden Oeffnungen vorziehen, weil sie sicherer zu kalibriren sind. Diese letztere Arbeit geschieht in der Art, daß man durch Saugen eine Quecksilbersäule von etwa 1 Zoll Länge in die Röhre bringt, und dann durch gelindes Stoßen der Röhre dieses Quecksilber nach und nach durch die ganze Röhre hindurchführt, während man die Länge desselben mit seiner auf dem Papier gezeichneten anfänglichen Länge stets sorgfältig vergleicht. Hat man irgend ein Stück der Röhre gleich weit gefunden, und wären es auch nur 3 Zolle, so wird es durch umgebundenen gewichsten Faden bezeichnet und später so ausgebrochen, daß das bei dem Aufblasen der Kugel verloren gehende Glas aus dem ungleich weiten Theile genommen wird. Man wird nämlich bei diesem Versuche bald die unangenehme Erfahrung machen, wie selten gleichweite Thermometerröhren sind. Für den gewöhnlichen Thermometermacher hat dieses nichts zu bedeuten, die guten Röhren legt er für genaue Thermometer bei Seite, und aus den weniger guten werden die zahllosen Zimmerthermometer gefertigt, die ja ohnehin nur bis etwa + 30 R. richtig zu sein brauchen und bis dahin nach einem Normalthermometer graduirt werden.

Bei dem Aufsaugen der Probesäule von Quecksilber kommt gerne Feuchtigkeit in die Röhre, und sie ist fast nicht mehr herauszubringen; das einzige Mittel, welches noch einigen Erfolg hat, besteht darin, daß man nach dem Anblasen der Kugel zugleich die ganze Röhre, ausschließlich der Kugel, recht erhitzt und dann erst auch die Kugel erwärmt, wo dann die aus der Kugel austretende Luft den Wasserdampf forttreibt. Sollte eine andere Unreinigkeit in eine Thermometerröhre gekommen sein, so gebe man dieselbe nur sogleich verloren. Um das Eintreten von Feuch-

tigkeit in die Thermometerröhre zu verhüten, bindet man an das eine Ende derselben einen Kautschukbeutel, drückt diesen zusammen, steckt die Röhre in Quecksilber und überläßt es der Elasticität des Beutels etwas Quecksilber aufzusaugen, was aber bei feinen Röhren nicht geht.

b) Bearbeitung der Röhre. Nachdem die Röhre einerseits verschlossen und aufgestaucht ist, wird an das Ende eine Kugel nach der obigen Anweisung aufgeblasen, wobei man sorgfältig verhüten muß in die Röhre Feuchtigkeit zu bringen. Da aber dieses bei aller Sorgfalt dennoch manchmal geschieht, so wird von Einigen gerathen, an das offene Ende einen Kautschukbeutel zu binden und durch dessen Zusammendrückung die Kugel aufzublasen. Viel zweckmäßiger ist es, die Röhre beiderseits zu verschließen, sie zuerst der ganzen Länge nach heiß zu machen, dann aber das eine Ende in die Flamme zu bringen und durch die Elasticität der Luft eine kleine Kugel aufzutreiben. Man öffnet sodann die Röhre, verschließt sie nach dem Erkalten wieder, erhitzt sie wieder, um dieses, wenn nöthig, noch einmal zu wiederholen, oder man richtet das Feuer auf das Ende der Kugel, um diese vorn platzen zu machen, worauf die Oeffnung durch ein Eisenstäbchen erweitert und durch Zusammenschmelzen der Lappen, welche durch das Aufplatzen entstanden, verstärkt wird. Es wird nun eine ziemlich dünnwandige, etwa 1 — 1 ½ Linien weite Glasröhre hier angeschmolzen und die Schweißstelle etwas aufgeblasen. Nun erst staucht man das andere Ende und bläst die Kugel auf, wobei nun keine Feuchtigkeit in die Thermometerröhre kommt. Die fertige Röhre hat jetzt die Gestalt, wie Fig. 515, und ist zugleich auf das Zweckmäßigste zur Füllung vorbereitet.

Fig. 515.



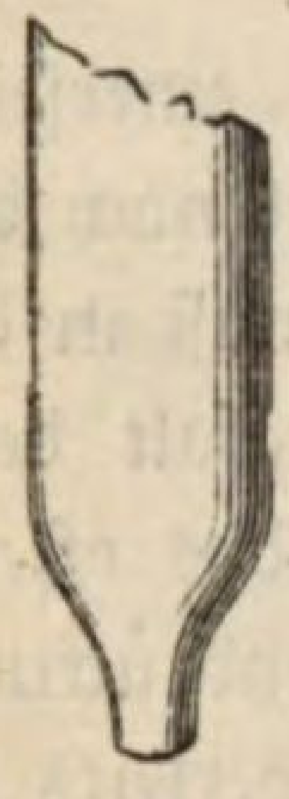
Was die Größe der Kugel betrifft, so ließe sich dieselbe aus dem Gewichte und der Länge der Behufs des Kalibrirens in die Röhre gebrachten Quecksilbersäule, so wie aus der Länge der Thermometerröhre, dem verlangten Umfange der Skale und der Ausdehnung des Quecksilbers berechnen; allein es ist viel zweckmäßiger, durch Vergleichung fertiger Thermometer sich hierin einiges Augenmaaß zu erwerben.

Wenn die Röhre eine Kugel von mehr als 4 — 5 Linien Durchmesser erforderte, so müßte ein Cylinder angeschmolzen werden, wozu man die Röhre erst einerseits verschließt und wie oben eine Röhre von 3 — 4 Zollen ansetzt, nur wird die Schweißstelle gar nicht oder nur ganz schwach aufgeblasen. Nachher erst schmilzt man den überflüssigen Theil der Röhre ab.

c) Das Füllen. Man nimmt durch Schütteln mit verdünnter Salpetersäure gereinigtes und nachher wieder mit Wasser ausgewaschenes und mit Fließpapier getrocknetes Queck-

silber, das man vorher durch Kochen von Luft befreit. Hat man nicht, wie so eben angeführt wurde, eine weitere Röhre angeschmolzen, so nimmt man einen kleinen Glastrichter oder eine wie Fig. 516 unten verengte, etwa 3 Linien weite Glasröhre, umwickelt das Ende der Thermometerröhre mit Papier und steckt es fest in die Röhre des Trichters. Das Quecksilber wird noch warm durch einen Papiertrichter (§. 43, 4) in den Glastrichter gefüllt und sodann die ganze Röhre nebst der Kugel über einer Weingeistlampe erhitzt, wodurch Luft ausgetrieben wird und dafür beim Erkalten Quecksilber in die Kugel tritt. Erhitzt man nun zum zweiten Male die Röhre und bringt darauf das Quecksilber in der Kugel ins Kochen, so wird dadurch beinahe alle Luft aus der Kugel entfernt. Darum darf man jetzt auch die Kugel nur langsam von der Flamme entfernen, weil sonst das hineinstürzende Quecksilber dieselbe zerschlagen könnte. In der Regel wird auch jetzt noch eine kleine Luftblase da zurückbleiben, wo die Kugel an der Röhre sitzt; allein man läßt nun das Thermometer erkalten; damit die Kugel möglichst viel Quecksilber aufnehme. Später erwärmt man das Thermometer von neuem in senkrechter Lage, wobei durch die Ausdehnung des Quecksilbers in der Kugel die Luftblase durch die Röhre hinaufgetrieben wird; so wie man vermuthet, daß auch das Quecksilber unter der Blase das Ende der Röhre erreicht habe, entfernt man das Feuer, und gibt Achtung, ob etwa die Luftblase sich wieder in die Röhre zurückziehen will. Wäre dieses der Fall, so erwärmt man etwas stärker und rührt ein wenig im Quecksilber an der Oeffnung der Thermometerröhre mit einer Stricknadel. Viel leichter geht alles dieses mit der angeschmolzenen Röhre, Fig 515, in welcher selbst das Quecksilber vor dem Füllen ausgekocht wird, und wo man die Luftblasen nie aus dem Auge verliert. Sollte, was doch mitunter der Fall ist, ein nadelfeines Luftbläschen zurückbleiben, so hätte dieses nichts zu sagen, wenn es nur in der Kugel wäre; allein es dürfte nicht so groß sein, daß man dasselbe schon vor dem Verschlusse der Röhre bemerken kann, weil es sonst bei Entfernung des äußeren Luftdruckes zu groß würde.

Fig. 516.



Nach vollständiger Erkaltung der Röhre wird das Quecksilber aus dem Trichter ausgegossen und durch Erwärmung der Kugel auch ein oder zwei Tröpfchen aus der Röhre entfernt, um durch einen vorläufigen Versuch zu ermitteln, wie lang 10 Grade auf dem Thermometer werden, worauf man sich entschließt, auf welche Weise man die vorhandene Länge des Thermometers benutzen will. Gewöhnliche Thermometer sollten bis 30° oder 40° C. unter Null gehen, allein man wird vielleicht in einem und dem anderen Falle zufrieden sein müssen, wenn das Thermometer

auch nur etwa 5 Grade unter Null geht, um entweder den Siedepunkt noch zu erreichen, oder ihn bedeutend überschreiten zu können. Je nach diesen Umständen wird man nun an die Röhre ein Zeichen machen, bis wohin die gegenwärtige Lufttemperatur kommen soll, um darnach durch weitere Erwärmung noch mehr Quecksilber zu entfernen, oder, was freilich unangenehm ist, das entfernte wieder zu ersetzen. Letzteres geschieht dadurch, daß man wieder ausgekochtes Quecksilber in den Trichter bringt und das Thermometer soweit erhitzt, daß sich das Quecksilber der Röhre mit jenem im Trichter wieder vereinigt.

Außer Quecksilber nimmt man, den Weingeist ausgenommen, jetzt keine anderen Flüssigkeiten zu Thermometern, und auch den Weingeist nur für solche Thermometer, welche einer größeren Kälte ausgesetzt werden sollen, als sie das Quecksilber erträgt. Die Röhren werden hierfür weiter, bis ½ Millimeter weit, genommen, da man sonst den Weingeistfaden nicht gut sehen würde, obwohl man ihn gewöhnlich mit Fernambuk roth färbt.

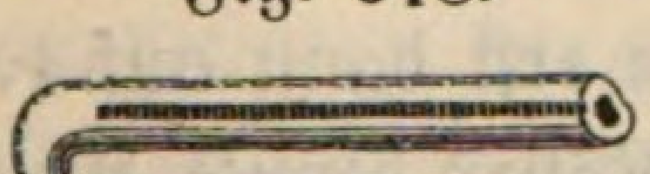
Fig. 517.



Das Füllen geschieht auf gleiche Weise wie beim Quecksilber, nur kann hier von keinem mit Papier aufgesteckten Trichter die Rede sein. Schmilzt man hier keine weitere Hülfsröhre an, so wird die Röhre sogleich in eine Spitze ausgezogen und diese nach dem Erhitzen der Kugel in eine Schale mit dem schwach ausgekochten Weingeist von etwa 60—70 Proc. gesenkt, wie Fig. 517 zeigt.

d) **Das Schließen der Röhre.** Wenn der Quecksilbergehalt regulirt ist, schmilzt man die weitere Röhre ab und zieht dabei die Thermometerröhre in eine ziemlich feine Spitze aus; letzteres geschieht auch, wenn nur ein Trichter aufgesetzt wird. Das Thermometer wird nun erwärmt, bis ein Tröpfchen Quecksilber an der nadelfeinen Spitze der Röhre zum Vorschein kommt, worauf man die Kugel aus dem Feuer und die Spitze hinein bringt, wo sie schnell zuschmilzt, besonders wenn man das Löthrohr anwendet; das Quecksilber zieht sich jetzt zurück und der Raum über demselben wird luftleer, worauf man durch weiteres Schmelzen das Ende der Röhre abrundet und, wenn das Thermometer auf eine flache Skale von Holz oder Metall befestigt werden soll, etwas umbiegt, wie Fig. 518.

Fig. 518.



Sollte nach dem Verschluß durch eine Luftblase sich der Quecksilberfaden trennen, so kann man das Thermometer an einem 3 — 4 Fuß langen Bindfaden im Kreise herumschwingen; durch die Centrifugalkraft wird, wenn die Röhre nicht zu enge ist, das Quecksilber wie-

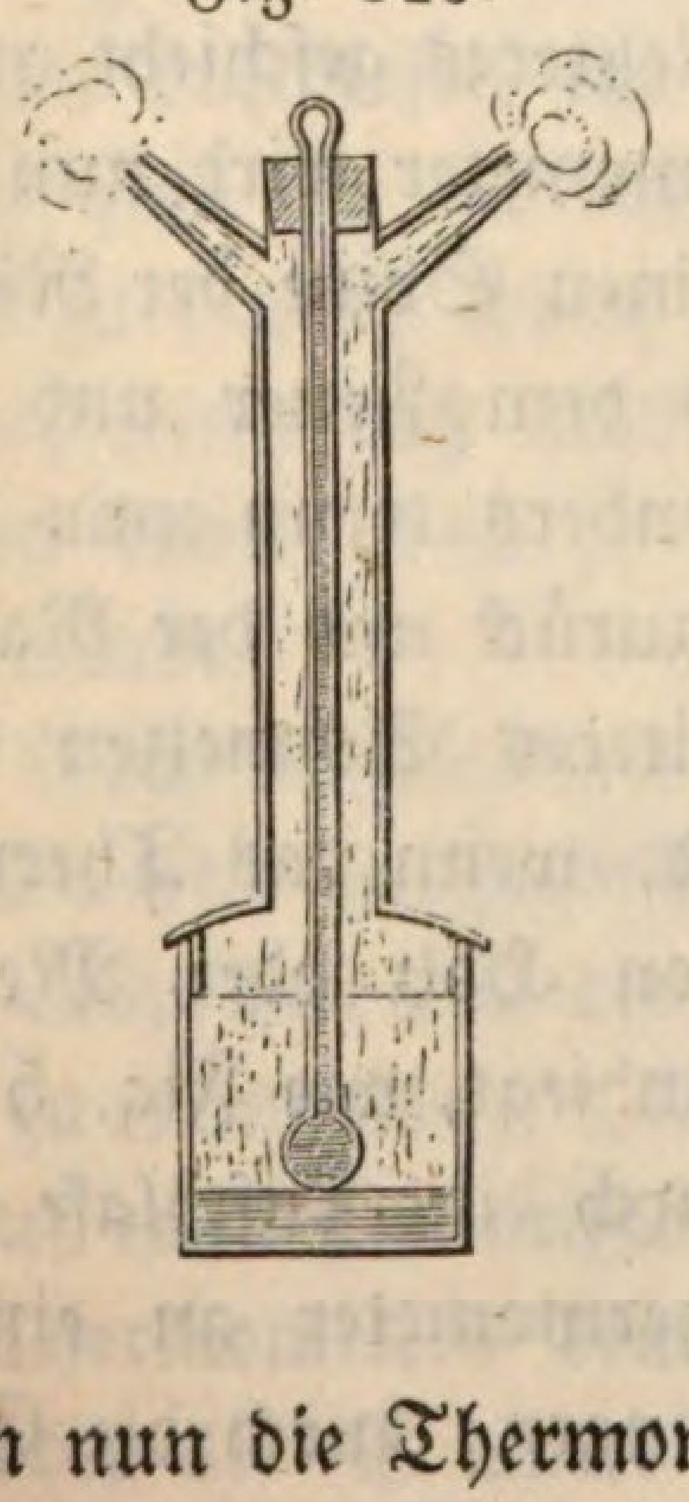
der vereinigt und die kleine Luftblase kommt über dasselbe, wo sie nichts schadet. Sehr enge Röhren müssen meistens wieder geöffnet werden.

Luft in dem Thermometer zu lassen, mit oder ohne Erweiterung am oberen Ende, ist durchaus verwerflich. Gerade so nämlich, wie der Druck der äußeren Atmosphäre beim luftleeren Thermometer durch Zusammendrücken der Kugel das Steigen des Gefrierpunktes veranlaßt, wodurch man genöthigt wird, diesen erst längere Zeit (2—3 Monate) nach der Verschließung des Thermometers zu bestimmen, gerade so bringt die im Thermometer eingeschlossene Luft, wenn sie beim Steigen des Thermometers wieder die Dichtigkeit der äußeren Luft erreicht oder gar noch zusammengedrückt wird, ein Sinken des Siedepunktes hervor und macht schon vorweg seine Bestimmung unrichtig.

Auch Weingeistthermometer werden luftleer gemacht, sie halten den Siedepunkt des Wassers doch aus, indem die gebildeten Weingeistdämpfe das Sieden des Weingeistes hindern, wenn nur die Kugel nicht gar zu schwach im Glase ist. Sollten hier Blasen entstehen, welche die Weingeistsäule trennen, so lassen sie sich bei der bedeutenden Weite der Röhre durch Schwingen sehr leicht in den oberen leeren Theil der Röhre schaffen.

e) Bestimmung der festen Punkte. Der Nullpunkt wird bestimmt, indem man das Thermometer in ein Gemenge aus fein gestoßenem Eis oder besser aus Schnee und wenig Wasser so tief einsenkt, als das Quecksilber in der Röhre steht; man bindet vorher einen gewichsten Seidenfaden um die Röhre, den man dann so verschiebt, daß dessen unterer Rand den Gipfel des Quecksilbers tangirt, wenn dasselbe sich nicht mehr senkt; später bezeichnet man diese Stelle mit dem Schreibdiamant (Krätzer). Gut ist es, wenn hiebei die äußere Temperatur selbst nur wenige Grade über Null steht Der Siedepunkt wird in einem metallenen Gefäße, wie Fig. 519, bestimmt, dessen langer Hals, für das Entweichen des Dampfes, zwei Seitenöffnungen, dessen mittlerer Theil aber eine nur so weite Oeffnung hat, daß jede Thermometerröhre mit einem umgebundenen Faden ohne Anstoß durchgeschoben werden kann. Diese Oeffnung befindet sich am besten in einem Deckel, der an das Thermometer geschoben und mit diesem erst dann auf das Gefäß kommt, wenn das Wasser bereits einige Zeit gesotten hat; das Thermometer muß dabei nahe an das siedende Wasser reichen. Indem man nun die Thermometerröhre öfter aus dem Gefäße etwas hervorzieht, verschiebt man mit einem Stäbchen den vorher umgebundenen Seidenfa-

Fig. 519.



den auch hier an den Gipfel der Säule und bezeichnet nachher, wenn sich die Stellung des letzteren gehörig constant gemacht hat, die Stelle mit dem Diamant.

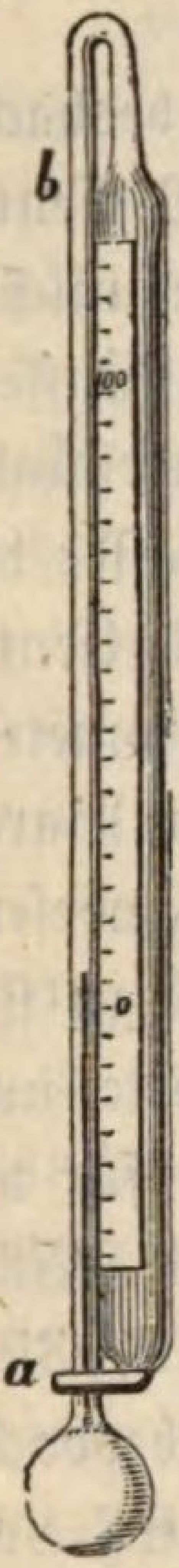
Bei der Bestimmung des Siedepunktes muß der Luftdruck beobachtet werden, indem man die Siedepunkte der Thermometer auf 76 Centimeter oder 336,9 Pariser Linien Barometerstand reducirt. Man müßte für diese Correctur eine Tabelle haben über die Spannkraft der Wasserdämpfe bei verschiedenen Temperaturen. Allein da die Barometerstände nicht so sehr verschieden sind, so genügt es zu wissen, daß das Wasser bei 70,7 Centimeter Barometerstand schon bei 98° C., bei 73,3 Centimeter aber bei 99° C. kocht, indem man die zwischenliegenden Barometerstände den Temperaturen proportional nimmt. Wäre demnach der Barometerstand bei Bestimmung des Siedepunktes 72,5 Centimeter gewesen, so würde an dem gefundenen Siedepunkte nicht 100 sondern 98,7 zu stehen kommen, also auch der Zwischenraum zwischen diesem Punkte und dem Gefrierpunkte entsprechend getheilt werden. Noch kürzer und für die meisten Zwecke überaus genau genug ist das Verfahren, für je 1 Millimeter, um welchen das Barometer tiefer steht als 76 Centimeter, 0,0378 Grade C. von 100, abzuziehen, um zu finden, welche Zahl an den beobachteten Siedepunkt zu schreiben ist; für jede Pariser Linie Differenz von 336,9 beträgt dieses 0,0881 Grade C. Bei diesen Reductionen ist eigentlich vorausgesetzt, daß der beobachtete Barometerstand auf 0 C. reducirt sei. Nach Egen, kann man die Correctur so machen, daß man für jede Pariser Linie, um welche das Barometer bei der Bestimmung des Siedepunktes unter 28 Zoll stand, den Siedepunkt um 0,001 des für beide festen Punkte gefundenen Abstandes höher hinauf rückt.

Von einer Bestimmung der festen Punkte mit Rudberg'scher Genauigkeit kann hier keine Rede sein.

f. Skalen. Am zweckmäßigsten ist es für den gewöhnlichen Gebrauch, die Skale auf Papier zu zeichnen, und zwar die hunderttheilige und die achtzigtheilige nebeneinander, wozu man die Theilmaschine, Fig. 71, benutzen kann, oder in Ermangelung derselben mit einem feinen Zirkel die Theilung mit der Hand macht. Diese Skale wird dann über eine Thermometerröhre gerollt und in eine etwa bleistiftdicke Glasröhre geschoben, an der unterhalb bereits eine gläserne Hafte von der Weite der Thermometerröhre, wie *a*, Fig. 520 (a. f. S.), angebracht ist. Durch diese Hafte wird das Thermometer bis an die Kugel geschoben, sodann der Papierstreifen, an welchem oben und unten bereits Siegellacktröpfchen sich befinden, ebenfalls mit seinen festen Punkten den festen Punkten der Röhre gegenüber gebracht, und dann die Röhre bis zum Schmelzen des Siegellacks erwärmt. Oberhalb schmilzt man dann auch die Röhre zu und vereinigt ihr aus-

gezogenes Ende mit einer bei *b* vorher an das Thermometer geschmolzenen Verlängerung. Man darf hier die Röhre für die Skale nicht zu weit nehmen, weil sonst die Masse des Thermometers zu sehr vergrößert wird, was nachtheilig ist, wenn man dasselbe in nur kleine Portionen Flüssigkeit zu tauchen hat, ein Umstand, der noch, außer der größern Empfindlichkeit an sich, für die Wahl enger Thermometerröhren überhaupt spricht. Manchmal wird auch die Thermometerröhre sammt der Skale in eine weitere Glasröhre eingeschmolzen, so daß nur die Kugel hervorsteht, wie in Fig. 521; es ist dieses eine sehr schwierige Arbeit und mag wohl für manche gewerbliche Zwecke sehr gut sein, um das Thermometer besser vor dem Zerbrechen zu schützen, kann aber wohl nie genaue Arbeit zulassen.

Fig. 520.



Macht man die Skale auf Holz, Messing oder Elfenbein, so erhält dieselbe oben ein kleines Loch, in welchem der Haken, Fig. 518, gerade unten aufsitzen muß, wenn die Skale die rechte Lage gegen die Röhre hat. Bei Elfenbein kann man die Striche mit Tusche einschwärzen und dann die Skale noch einmal mit Glas abziehen. Messing erwärmt man und überzieht es mit schwarzem Siegellack; nach dem Erkalten wird die Skale nochmals mit Wasser geschliffen, bevor man sie mit Schelllack firnißt oder kalt versilbert.

Fig. 521.



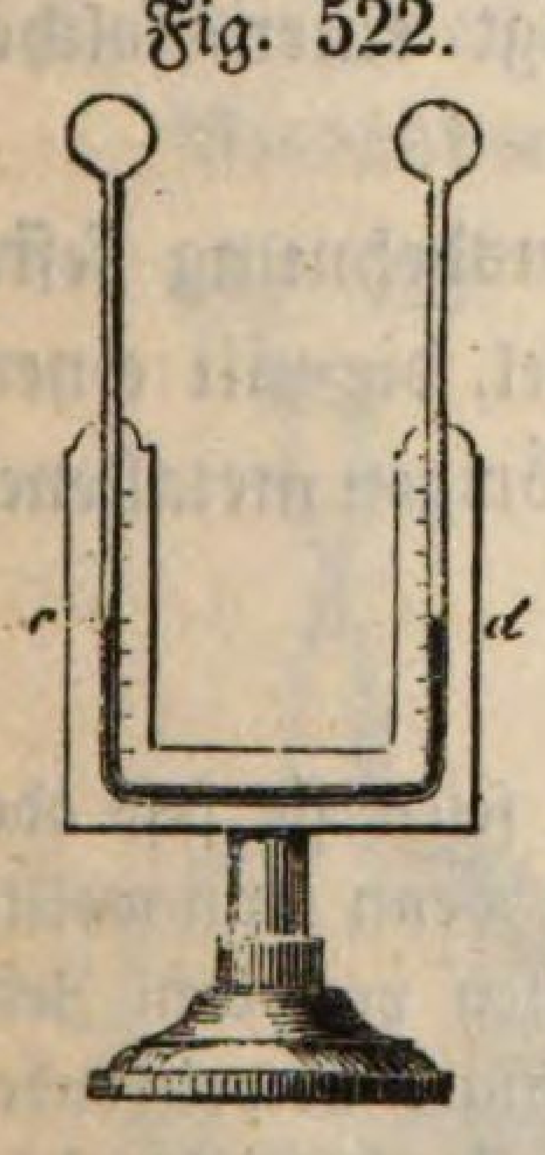
Die Skalen der Weingeistthermometer stimmen unter 0 schon genau genug mit dem Quecksilber, allein über 0 muß man sich einer eigenen Reductionstabelle bedienen, wenn man die Skale des Weingeistthermometers nicht etwa von 10 zu 10 Grad nach einem Quecksilberthermometer reguliren will.

g) In Glas geätzte Skalen. Für manche Zwecke ist es wünschenswerth, daß die Skale auf die Thermometerröhre selbst gezeichnet sei. Wollte man die Striche mit dem Diamant machen, so würde die Röhre dadurch gebrechlicher, und es gehört hierzu auch viele Uebung; darum ätzt man die Skale besser durch Flußspathsäure. Man reinigt hiefür das Glas mit Lauge, wäscht es wieder mit Wasser und trocknet es mit Leinwand. Als Aetzgrund kann man Klebwachs oder Wachs nehmen, welches man auf die erwärmte Röhre dünn aufträgt. Einen bessern Aetzgrund erhält man, wenn man 2 Th. weißes Wachs, 1 Th. Mastix, ½ Th. Asphalt und ½ Th. Terpenthin in einem neuen irdenen Topfe bei gelindem Feuer etwa ½ Stunde lang im Flusse erhält, damit die Unreinigkeiten zu Boden sinken, sodann den obern Theil der Masse in Wasser gießt und daraus einen eigroßen

Ballen formt, den man in ein Stückchen Taffet bindet. Mit diesem Ballen bestreicht man die erwärmte Thermometerröhre. Ist der Firniß erkaltet, so radirt man die Skale mit einer stählernen Nadel ein. Das Theilen kann auf der Theilmaschine geschehen; hat man diese nicht, so theilt man die Skale auf Papier, welches auf Holz geleimt ist, verfertigt aus einem 2 — 3 Fuß langen Stabe eine Art von Stangenzirkel mit zwei Nadeln, legt die getheilte Skale und das Thermometer in solcher Entfernung in gerader Linie auf einen Tisch, als die Länge des improvisirten Stangenzirkels erfordert, setzt die eine Spitze desselben nach und nach in die Theilstriche der Skale, hält sie dort mit der einen Hand und reißt mit der andern Hand und der andern Nadel die kurzen Theilstriche in den Aetzgrund, wobei immer das glänzende Glas zum Vorschein kommen muß; die Zahlen sind leicht beizusetzen. Es wird sodann in eine entsprechend lange Bleirinne der gepulverte Flußspath gebracht, mit gleichviel Vitriolöl befeuchtet und das Thermometer darüber gehalten, indem man es an der Kugel hält, welche außerhalb der Rinne bleibt, zur Vorsicht aber ebenfalls mit Aetzgrund bedeckt ist. Der Apparat wird unter einen Kamin gestellt, so daß der Luftzug von einem gegenüber geöffneten Fenster die flußsauren Dämpfe von dem Arbeiter wegtreibt, da dieselben sehr schädlich sind. Die Entwicklung des Gases geht bei gewöhnlicher Lufttemperatur schon vor sich, allein nur langsam; man erwärmt daher die Bleirinne gewöhnlich gelinde, wobei weiße Dämpfe aufsteigen, in welche man die Röhre hält, bis die früher glänzenden Theilstriche weiß erscheinen, worauf man unter Erwärmung den Aetzgrund mit Fließpapier und etwas Terpenthinöl abwischt. Gewöhnlich werden die Theilstriche durch den Finger mit Tusche eingerieben, oder mit Zinnober, den man mit Terpenthinöl angemacht hat, und das übrige durch Fließpapier abgewischt. Daß man auf gleiche Weise auch andere Theilungen u. dgl. behandeln könne, bedarf keiner besondern Ausführung.

Das Differentialthermometer von Leslie. Man bläst an zwei 297

Fig. 522.



Thermometerröhren, deren Weite 1 — 1½ Millimeter beträgt, zwei nahezu gleiche Kugeln von 2 — 3 Centimeter Durchmesser; die eine der Röhren sollte kalibrirt sein. Sie werden dann so lang genommen, daß die kalibrirte das Stück *c*, Fig. 522, die andere aber das Stück *d* und das Verbindungsstück gibt, worauf man sie zusammenschmilzt, an der Schweißstelle durch Erwärmung der Kugeln etwas auftreibt und seitlich in eine Spitze auszieht. Die Röhren werden umgebogen, wie die Figur zeigt; sodann durch Erwärmen der Kugeln mit soviel verdünnter, durch Carmin gerötheter

Schwefelsäure gefüllt, als der Raum der nicht kalibrirten Röhre und das Mittelstück etwa fassen, worauf man die Spitze zuschmilzt und die Röhre auf ein Stativ befestigt, welches für den kalibrirten Schenkel *c* eine in Linien getheilte Skale hat. Man vertheilt durch Erwärmen der einen oder der andern Kugel die Luft im Instrumente so, daß die Flüssigkeit die Röhre *d* und das Mittelstück ausfüllt und bis zum Nullpunkt der Skale reicht, wenn beide Kugeln die gleiche Temperatur haben. Die Kugel bei *d* wird mit Tusche geschwärzt, wenn sie strahlender Wärme ausgesetzt werden soll. Obwohl man allerdings die Skale dieses Instrumentes in Relation mit dem Quecksilberthermometer bringen kann, so bedient man sich desselben doch gewöhnlich nur als Thermoskop. Mitunter steht der Nullpunkt der Skale in deren Mitte, wie die Figur zeigt, und dann muß auch die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch stehen, wenn sie gleiche Temperatur haben. Noch empfindlicher werden solche Instrumente, wenn man als Flüssigkeit gefärbten Weingeist anwendet und sie durch Auskochen ziemlich luftleer macht.

298 **Rutherford's Maximum- und Minimumthermometer.** Zur Anfertigung des Quecksilber- sowohl, als des Weingeistthermometers, nimmt man weitere Röhren, als sie sonst zu Thermometern üblich sind, und zwar zum erstern eine Röhre von etwa $\frac{1}{2}$—$\frac{2}{3}$ Millimeter, zum letztern eine von 1—$1\frac{1}{2}$ Millimeter Weite. Die Thermometer erhalten gewöhnlich nur eine Skalenlänge von — 30 bis zu + 30 Graden Réaumur, und werden nach einem Normalthermometer graduirt. Statt des Stahlstiftes dürfte beim Maximumthermometer ein hölzernes Stiftchen vorzuziehen sein, weil es vorkommt, daß die Stahlstifte nach längerer Zeit Adhäsion zum Quecksilber zeigen und dann natürlich ihre Dienste nicht mehr thun können. Der Glasstift im Weingeistthermometer besteht aus einer dünnen, schwarzen Glasröhre, die man an beiden Enden etwas auflöst, oder vielmehr durch die eingeschlossene Luft auftreiben läßt und so richtet, daß sie in Weingeist nur noch langsam untersinkt. Fig. 523 zeigt einen solchen Stift zweimal vergrößert.

Fig. 523.

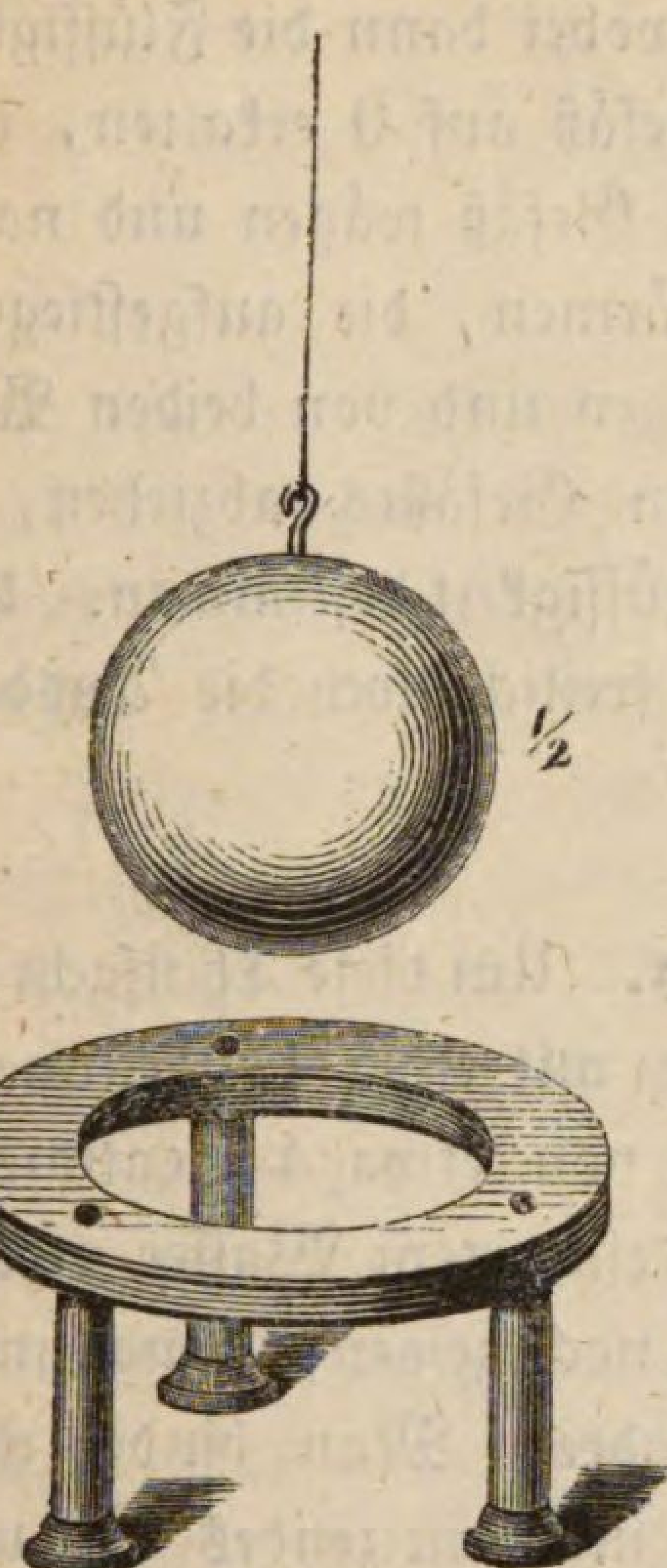


299 **Ausdehnung der festen Körper*).** Um die Ausdehnung fester Körper überhaupt zu zeigen, hat man gewöhnlich eine Kugel, die mit einem Häkchen versehen ist und kalt knapp durch einen dazu gehörigen metallenen

---

*) Messende Versuche über die Ausdehnung der Körper, seien sie fest oder flüssig, eignen sich nicht für den Unterricht, da man dabei, selbst wenn man wollte, nicht alle erforderlichen Vorsichten beobachten kann, ganz abgesehen von dem Zeitverlust. Solche Versuche führen daher immer zu mehr oder weniger abweichenden Resultaten, und man verliert von neuem Zeit, um die Gründe dafür zu entwickeln.

Fig. 524.



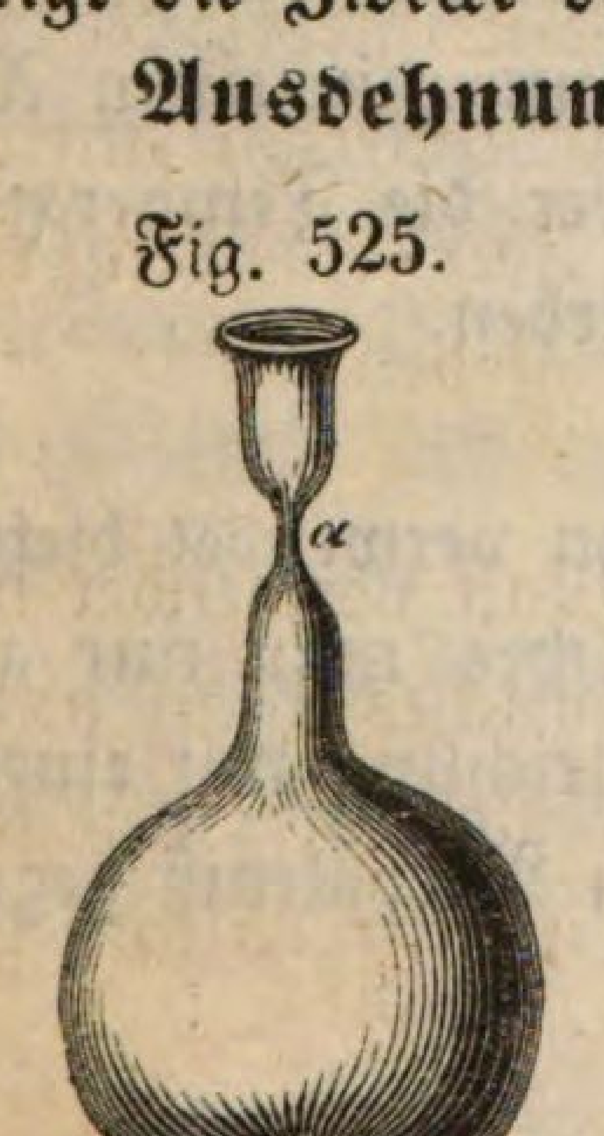
Ring geht; wird sie erwärmt, so geht sie nicht mehr durch. Man kann sich leicht einen solchen Körper drehen, da er nicht gerade eine vollkommene Kugel sein muß, wenn nur das Häkchen in der Richtung der Drehungsaxe angebracht ist. Der Ring erhält drei Füße, Fig. 524.

Um die ungleiche Ausdehnung verschiedener Metalle zu zeigen, nietet man einen etwa $\frac{1}{2}$ Zoll breiten, 1 Fuß langen und $\frac{1}{2}$ Linie dicken Streifen von Eisen mit einem gleichen Streifen von Messing mittelst von halb zu halb Zoll gesetzter Nieten zusammen oder löthet sie zusammen. Ist der so zugerichtete Streifen bei gewöhnlicher Temperatur gerade, so krümmt er sich sehr merklich bei nur mäßiger Erhitzung über der Weingeistlampe.

Wollte man zur Demonstration ein Rostpendel aus Eisen und Zink verfertigen, so müßten die Zinkstangen $\frac{7}{11}$ oder nach Andern 0,75 der Pendellänge vom Aufhängepunkte bis zum Mittelpunkte der Linsen haben, wobei also ein Paar Zinkstangen ausreicht. Die Stangen könnten mit Ausnahme der mittleren, welche die Linse trägt und welche mit einer Schraube in das letzte obere Querstück eingelassen sein muß, alle in den Querstücken vernietet werden, wodurch die Arbeit sehr einfach wird. Die Linsen fertigt man aus aufeinander gerichteten und mit Silber verlötheten Kugelsegmenten von Messing, in welche man durch eine mittlere Oeffnung der einen Schale Blei gießt, worauf man sie auf der Drehbank abdrehen kann. Es ist am einfachsten, dieselben horizontal an die Stangen zu stecken und also im Centrum der beiden Schalen zu durchbohren. Anfertigung von genauen Compensationspendeln zu bestimmtem Zeitmaße übersteigt die Zwecke dieses Buches.

Ausdehnung tropfbar flüssiger Körper. Wollte man sich nicht 300
damit begnügen, hiebei auf die Erscheinung am Quecksilber- oder Weingeistthermometer hinzuweisen, sondern das Factum der Ausdehnung auch noch an andern flüssigen Körpern zu zeigen, so wäre das Gefäß, welches Fig. 525 in etwa $\frac{1}{2}$ oder $\frac{2}{3}$ der natürlichen Größe zeigt, hiezu sehr wohl geeignet; es wird aus Glas gefertigt und hat an dem engen Halse bei *a* ein Zeichen. Man füllt es durch Erwärmen mit irgend einer Flüssigkeit und läßt es erkalten; nachher entfernt man — etwa

Fig. 525.



durch Fließpapier — die Flüssigkeit aus dem Trichter und Halse bis an das Zeichen und erwärmt das Gefäß von neuem, wobei dann die Flüssigkeit wieder in den Trichter steigt. Würde man das Gefäß auf 0 erkalten, alle Flüssigkeit bis an das Zeichen entfernen, dann das Gefäß wägen und nachher in Wasser bis zu einem gewissen Grade erwärmen, die aufgestiegene Flüssigkeit wieder entfernen, das Gefäß wieder wägen und von beiden Wägungen das vorher bestimmte Gewicht des leeren Gefäßes abziehen, so könnte man leicht die scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit bestimmen. Um die wirkliche Ausdehnung zu erhalten, müßte man freilich noch die Ausdehnung des Glases berücksichtigen.

301 **Maximum der Dichtigkeit des Wassers.** Um diese Thatsache zu zeigen, nimmt man eine starke Thermometerröhre mit etwa 1 Millimeter innerer Weite, und bläst an dieselbe eine Kugel von etwa 4 Centimeter Durchmesser. Dieses Thermometer wird nun mit destillirtem Wasser gefüllt und luftleer zugeschmolzen. Blasen, die sich etwa noch zeigen, bringt man durch Schwingen leicht in den leeren Theil der Röhre. Man bindet nun zwei gewichste Seidenfäden um die Röhre, setzt sie in schmelzendes Eis und schiebt den untern Faden dem sinkenden Wasser nach, bis dieses wieder zu steigen beginnt; steigt es nicht mehr, so schiebt man nun auch den zweiten Faden an den Gipfel der Säule. Man kann nun die Kugel aus dem Eise in die Hand nehmen, um immer mehreren Personen zugleich zu zeigen, wie die Wassersäule anfänglich schnell, dann langsamer bis zum untern Faden sinkt und dann wieder steigt. Hat das Wasser im Steigen den obern Faden überschritten, so kann man die Kugel wieder in das Eis setzen, um so nach und nach die so wichtige Erscheinung ohne zu großen Zeitverlust allen Zuhörern zu zeigen; daß hiebei die Ausdehnung des Glases nicht berücksichtigt ist, schadet für den Zweck, den man beabsichtigt, nichts. Wollte man größere Apparate hiezu anwenden, um auch dickere, also sichtbarere Wassersäulen zu erhalten, so würde das Erkalten und Erwärmen viel zu langsam von Statten gehen. Werden die angegebenen Dimensionen ungefähr eingehalten, so erhält man für die beiden Faden immerhin einen Abstand von ungefähr 4—5 Millimetern. Messungen über die Temperatur des Maximums können ohnehin hier keine beabsichtigt werden.

302 **Ausdehnung elastisch-flüssiger Körper.** Man verwendet hiefür ganz einfach ein mit Luft gefülltes Thermometer, in welches man nur als Index eine kleine Quecksilbersäule bringt, um durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer zu zeigen, wie stark sich Gase im Verhältniß gegen tropfbar-flüssige Substanzen ausdehnen.

B. Versuch über die Veränderung des Aggregatzustandes.

Latente Wärme des Wassers. Man wiegt in ein tarirtes Glas- 303
gefäß ein Pfund gestoßenes Eis oder besser Schnee, gießt sodann ein Pfund Wasser von 75° C. rasch hinzu und rührt es um; man erhält 2 Pfd. Wasser von 0°. Soll der Versuch einigermaßen zutreffen, so muß auch die Temperatur des Zimmers 0° oder nicht viel von 0° verschieden sein. Besser ist es, man nimmt 2—3 Pfd. Wasser von etwa 40°—30° Wärme, weil dieses beim Umgießen weniger Wärme verliert. Wenn auch die Temperatur des Gemenges etwas über 0 bleibt, die Rechnung, wodurch man doch die Quantität der latent gewordenen Wärme bestimmen kann, ist ja einfach. Im Sommer wird aber der Versuch immer nur schlechte Resultate geben, des im gestoßenen Eise befindlichen Wassers wegen. Es ist zweckmäßig im Sommer die Temperatur des Wassers so zu wählen, daß das Gemenge nachher die ungefähre Temperatur des Zimmers habe. Wenn aber auch die Zahlen bei diesem Versuche schlecht zutreffen, so ist er doch immer geignet das so richtige Gesetz des Latentwerdens der Wärme anschaulich zu machen, und kann daher nicht umgangen werden.

Kältemischungen. Wenn man ungefähr 3 Theile gestoßenes 304
Eis, oder besser Schnee, und 1 Theil Kochsalz mit einander mengt und das Gemenge dabei mit einem eisernen Löffel rasch durcharbeitet, so erhält man eine breiige Masse, deren Temperatur auch im Sommer auf — 10° bis — 12° sinkt. Noch größere Kälte, bis — 16°, erreicht man, wenn man das Kochsalz selbst vorher in Schnee oder Eis erkaltet und das Gefäß, in welchem die Mischung vorgenommen wird, selbst mit Eis oder Schnee umgibt. Die Quantitäten dürfen bei solchen Versuchen überhaupt nicht zu klein sein, man muß jedenfalls ein Gemenge von 2—3 Pfd. anwenden. Versuche mit anderen Kältemischungen sind für den Unterricht nicht zu empfehlen; sie zeigen jedenfalls nicht mehr als Eis und Kochsalz zeigt, wenn man auch mit einigen derselben noch stärkere Erkältung hervorbringen kann. Nur folgende Mischung ist praktisch wichtig, weil man die Salze durch Krystallisation wieder gewinnen kann, und sie daher auch im Großen z. B. für Zuckerbäcker brauchbar ist, nämlich 5 Theile Salmiak und 5 Theile Salpeter mit 10 Thl. Wasser von + 10° C.; sie gibt — 12° C.

305 Leichtflüssige Legirungen erhält man durch folgende Mischungen:

Wismuth.	Zinn.	Blei.	Schmelzpunkt.
4	1	1	94 C.
4	1½	2½	100
4	2	4	113,3
4	4	4	123,3
4	4	5	130,3
4	4	6	132
4	7	8	143,3
4	6	8	145,4
4	12	11	153,8
4	18	16	160,2
4	24	16	166,5
4	12	15	172
0	5	1	194
	4	7	215
	4	7½	221
	4	8	228
	4	8½	232
	4	10	243
	4	14	254
	4	19	265
	4	30	277
	4	48	288

Die letzteren sieben Legirungen werden auch benutzt, um schneidende Instrumente in einer noch schmelzenden Masse derselben genau gleichförmig anlassen zu können, da dieses namentlich dann schwierig ist, wenn der anzulassende Gegenstand sehr lang oder sehr ungleich dick ist. Die genannten sieben Legirungen geben der Ordnung noch folgende Farben beim Anlassen des Stahls: schwach gelb, goldgelb, dunkelgelb, purpur, violet, dunkelblau; hellblau erhält man in kochendem Leinöl bei 315° C.

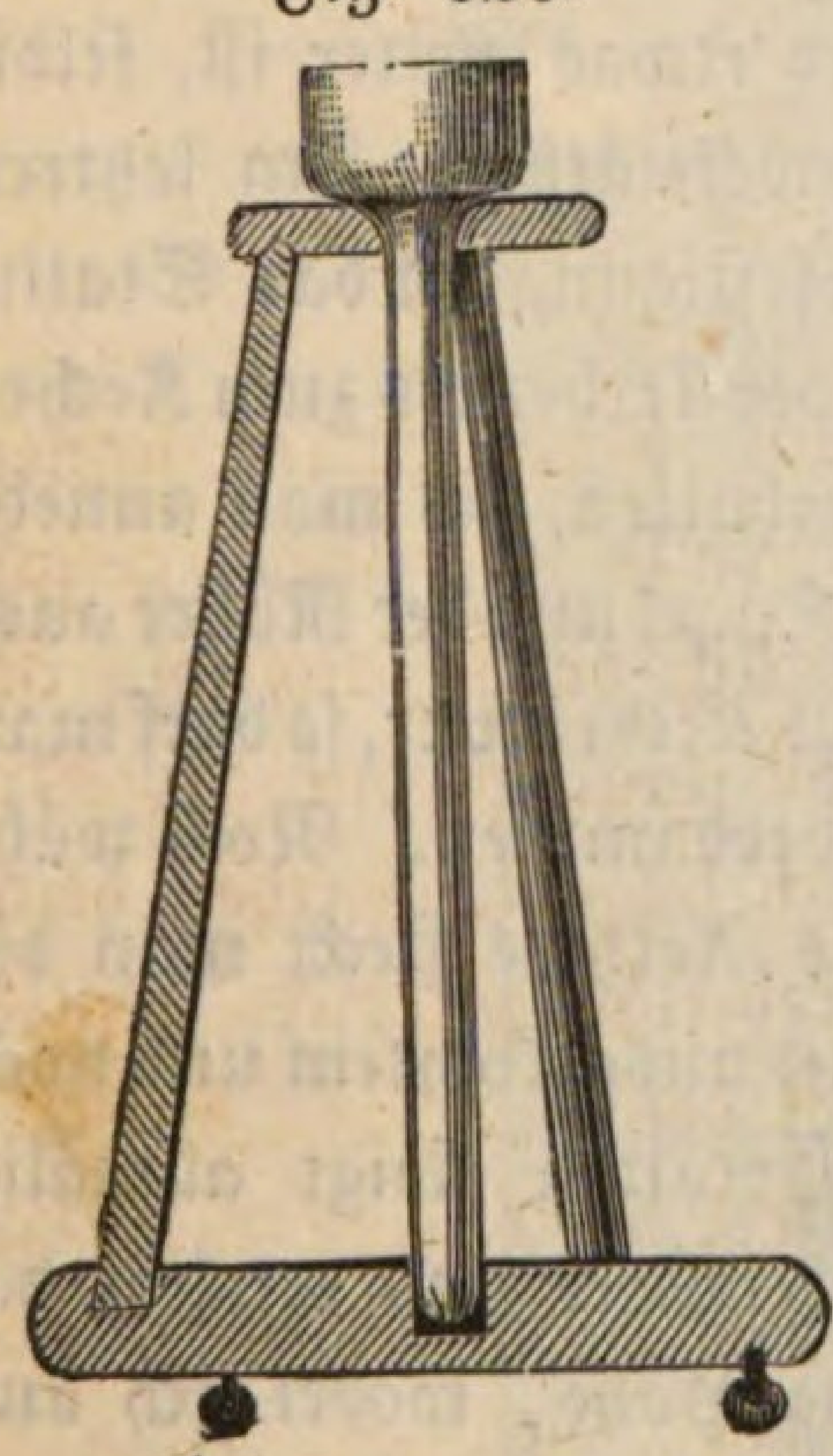
306 Daß beim Erstarren der Körper wieder Wärme frei wird, zeigt man am einfachsten auf folgende Weise. Man nimmt in ein gewöhnliches Medicinglas 2 Theile krystallinisches Glaubersalz und 1 Theil Wasser, erhitzt es bis zum Kochen über der Weingeistlampe, entfernt es, hängt ein Thermometer hinein und läßt es ruhig stehend erkalten bis auf etwa 15° R. Im Sommer wird es dabei nöthig, das Glas in frisches Wasser zu stellen. Bringt man sodann ein Körnchen Glaubersalz hinein, so steigt das Thermometer rasch auf 22—24°, während der größte Theil des Salzes krystalli-

sirt. Man kann das Glas verstopfen und es wieder brauchen, doch muß man das verdampfte Wasser ersetzen, wodurch der Erfolg unsicher wird. Das Aufbewahren ist bei dem Preise des Glaubersalzes kaum der Mühe werth. Das Glas sollte mit der Lösung etwa nur zur Hälfte gefüllt sein.

Wenn man unterschwefligsaures Natron zu diesem Versuche verwendet, so braucht man kein Wasser zuzusetzen, da dieses Salz in seinem Krystallwasser schmilzt. Man hängt auch hier ein Thermometer hinein und läßt das Glas so lange stehen, bis es die Temperatur von etwa 15—20° R. angenommen hat; rüttelt man hier das Glas nur wenig, so erstarrt die Masse wieder und das Thermometer steigt um etwa 18 Grad. Obgleich der Erfolg bei diesem Versuche auffallender ist, so dürfte er im Allgemeinen doch weniger zu empfehlen sein als der vorige, da das unterschwefligsaure Natron erstens nicht überall zu haben, und zweitens ziemlich theuer ist.

Krystallisation des Wismuths. Man erreicht die Krystallisa- 307
tion am leichtesten, wenn man etwa 2—4 Pfd. des Metalls in einem eisernen fast halbkugelförmigen Gießlöffel schmilzt und den Löffel nur sehr langsam erkalten läßt, bis sich eine feste Haut auf dem Metalle gebildet hat, die man dann mit einem Eisendrahte einstößt und rasch das innere noch flüssige Metall ausgießt. Man erhält nicht immer größere Krystalle, immer aber erhält man eine Oberfläche, aus welcher zahllose Würfelecken mehr oder weniger weit hervorstehen.

Fig. 526.



Gesetze der Dampfbildung. Um diese 308
Gesetze nachzuweisen, nimmt man das Gefäß Fig. 526 und eine etwas weite etwa ein Meter oder darüber lange Glasröhre, welche gut gereinigt und einerseits zugeschmolzen wird; diese Röhre füllt man, nachdem sie erwärmt wurde, durch einen Papiertrichter mit reinem ausgekochten, noch warmem Quecksilber bis auf etwa $\frac{1}{2}$—1 Centimeter und sucht auf die in §. 63 angegebene Weise die Luftblasen sorgfältig zu entfernen. Wenn man auch nicht gerade eine wirklich ausgekochte Barometerröhre zu dieser Demonstration verwendet, was doch zu luxuriös wäre, so muß man wenigstens auf die eben angegebene Weise verfahren, weil sonst die Versuche zu sehr von dem Gesetze abweichen, wenn sich etwas mehr Luft in dem Raume über dem Quecksilber befindet. Den Rest der Röhre füllt man mit Schwefeläther, verschließt mit dem Finger und kehrt sie in das Gefäß um.

Mit dem so zugerichteten Apparate kann man nun die Gesetze der Dampfbildung sehr gut nachweisen, wenn man nur Sorge getragen hat,

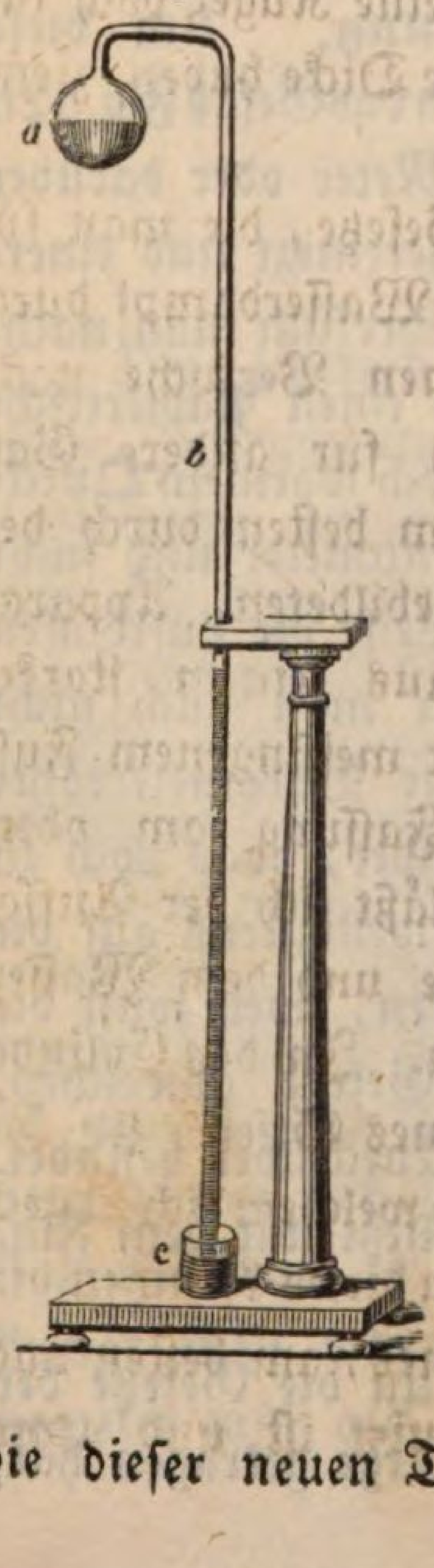
nicht so viel Aether in die Röhre zu bringen, daß derselbe den Raum über dem Quecksilber zu sättigen vermag, wenn die Röhre soweit als möglich aus dem Gefäße ausgezogen ist; ist die Röhre nicht über ein Meter lang, so ist es an 5 Millimeter Aether genug. Man kann dann auch noch zeigen, daß der Aetherdampf in dem Fall, wenn er den Raum nicht erfüllt, zusammendrückbar und ausdehnbar ist, und daß seine Elasticität ab- und zunimmt, so wie man den Raum größer oder kleiner macht.

Es ist für diese Versuche sehr bequem, wenn an dem Stative des Gefäßes eine Skale befestigt ist, bis zu deren Nullpunkt das Gefäß mit Quecksilber gefüllt wird. Die Skale muß dieselbe Theilung haben, wie das Barometer, das man besitzt. Uebrigens kann man auch eine Theilung auf die Röhre selbst mit Tusch auftragen.

Um die Veränderung der Spannkraft des Aetherdampfes durch die Temperaturerhöhung zu zeigen, darf man nur ein erwärmtes Blech in die Nähe der Röhre bringen.

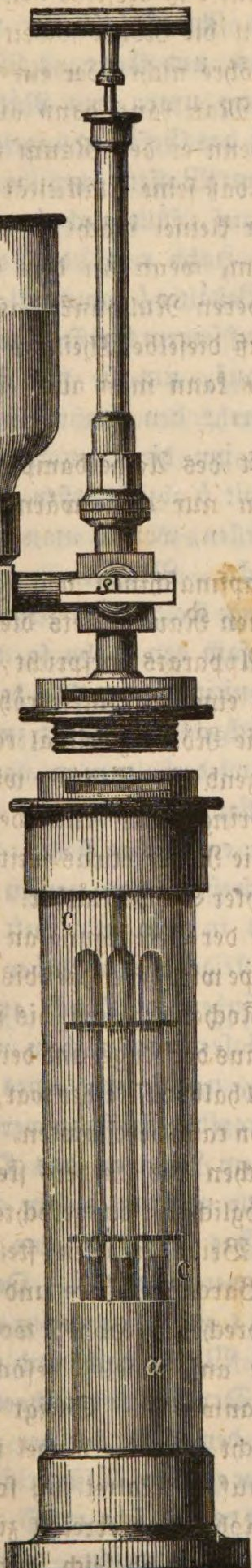
309 Um den für die Condensations-Dampfmaschinen wichtigen Satz zu zeigen, daß der Dampf in einem geschlossenen Raume stets die Spannung annimmt, welche dem kältesten Theile des Apparats entspricht, kann man folgenden Versuch machen. Man bläst an eine Barometerröhre eine Kugel von etwa 1 Zoll Durchmesser, biegt die Röhre zweimal rechtwinklicht und befestigt sie an irgend ein Stativ, wie Fig. 527 zeigt.

Fig. 527.



In die Kugel bringt man entweder durch Erwärmung, oder, wenn die Röhre etwas weiter ist, selbst durch einen kleinen Trichter Schwefeläther. Im letztern Falle geschieht dieses vor der Befestigung an das Stativ. Durch eine Weingeistlampe wird der Aether bis zum Kochen gebracht und so lange im Kochen erhalten, bis man annehmen kann, es sei alle Luft aus der Kugel und der Röhre ausgetrieben; wenn die Kugel halbvoll Aether war, so darf man wohl etwa die Hälfte davon rasch verdampfen. Noch während dem letzten Aufkochen des Aethers steckt man die Röhre in ein Glas, womöglich mit ausgekochtem und noch warmem Quecksilber. Beim Erkalten steigt allmälig das Quecksilber in der Barometerröhre und erreicht die der Lufttemperatur entsprechende Höhe, wobei sich auf demselben etwas Aether ansammelt, besonders wenn man kaltes Quecksilber anwendet. Steigt das Quecksilber nicht mehr, so taucht man die Kugel in ein Glas Wasser, das durch Eis auf 0 erkaltet ist; sogleich steigt das Quecksilber in der Röhre und erreicht ziemlich bald die dieser neuen Temperatur entsprechende Höhe, obgleich nur die Kugel

Fig. 528.

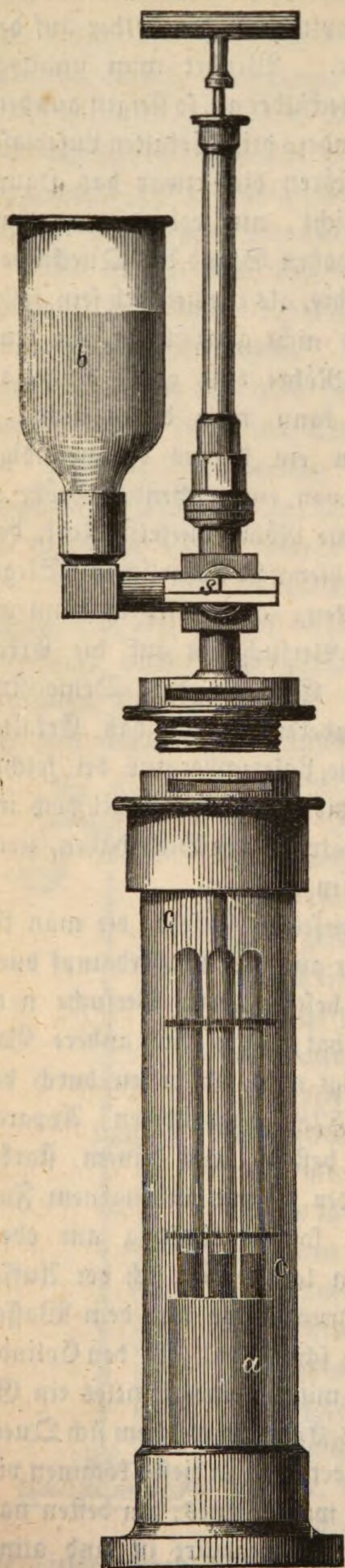


und nicht die Röhre erkaltet wurde; hiebei verdampft dann der Aether auf dem Quecksilber. Wendet man unausgekochtes Quecksilber an, so steigen aus demselben besonders beim Erkalten Luftblasen auf; es stören diese zwar das Hauptresultat nicht, nur erhält man dann keinen so hohen Stand des Quecksilbers in der Röhre, als er eigentlich sein sollte.

Es ist nicht ganz leicht, an einer so langen Röhre eine große Kugel anzublasen; kann man dieses nicht, so steckt man ein kleines dünnwandiges Gläschen von entsprechender Größe an die gebogene Röhre mittelst Kork, doch muß man hier noch äußerlich mit Siegellack verkitten; auch wird es dann gut sein, den Versuch bis auf die Erkaltung mit Eis vor der Demonstration vorzubereiten, da das Erkalten bis auf die Lufttemperatur bei solchen Gläsern, die gegen eine Kugel doch immer eine beträchtliche Dicke haben, ziemlich langsam geht.

Daß dieselben Gesetze, die man für 310
Aether oder auch für Wasserdampf durch die eben beschriebenen Versuche nachgewiesen hat, auch für andere Gase gelten, zeigt man am besten durch den in Fig. 528 abgebildeten Apparat. Derselbe besteht aus einem starken Glascylinder *c* mit messingenem Fuße und eben solcher Fassung am obern Theile; in letztere läßt sich der Aufsatz mit der Druckpumpe und dem Wasserbehälter *b* schrauben. In den Cylinder stellt man mittelst eines Stieles ein Gefäß *a* aus Eisen, in welchem sich Quecksilber befindet, und in dieses kommen vier Röhrchen, wovon eines, am besten nach Atmosphären, graduirt ist und atmo-

Fig 529.



sphärische Luft enthält, die andern enthalten schweflichtsaures Gas, Ammoniakgas und Cyangas, von deren Darstellung unten das Nähere folgen soll. Ist das Gefäß *a* eingesetzt, so füllt man *C* mit Wasser, schraubt das Pumpenstück auf, füllt auch *b* mit Wasser, stellt den Hahn *s* so, daß die Pumpe mit dem Behälter *b* communicirt, was die Striche auf seinem Griffe zeigen, zieht die Pumpe auf, um sie mit Wasser zu füllen, dreht den Hahn eine Viertelswendung, um die Communication der Pumpe mit *b* abzuschließen und jene mit *C* herzustellen, worauf man den Kolben niederdrückt. Nachdem man auf diese Weise einige Kolbenzüge gethan, so stellt man langsam den Hahn so, daß *C* und *b* communiciren, um die beim Füllen in *C* zurückgebliebene Luft zu entlassen. Letzteres wiederholt man noch einmal oder überhaupt so oft, bis man keine Luft mehr entweichen sieht. Jetzt wird die Compression von neuem gemacht, wobei das in dem mit Luft gefüllten Röhrchen steigende Quecksilber den jederzeit stattfindenden Druck angibt; die anderen Gase werden nacheinander tropfbar flüssig, und so wie eines derselben anfängt tropfbar flüssig zu werden, steigt bei weiterem Pumpen das Quecksilber beinahe nur noch in diesem Röhrchen, bis das Gas ganz in eine tropfbare Flüssigkeit verwandelt ist. Oeffnet man den Hahn *s* ein wenig gegen *b*, so entweicht das Wasser nach und nach, und so wie der Druck soweit nachgelassen hat, daß eines der Gase bei der gegebenen Temperatur elastisch flüssig existiren kann, verwandelt es sich sehr rasch — so rasch als das Wasser entweicht — ganz in Gas.

Einem solchen Apparate ist gewöhnlich auch ein Gefäß beigegeben, um nach der Methode von Collადon und Sturm die Zusammendrückbarkeit des Wassers nachzuweisen.

Die Darstellung der genannten Gase geschieht in kleinen Retorten 311
von Glas, an welche man eine gewöhnliche Gasentwicklungsröhre anbringt, die in das Quecksilber führt. Letzteres befindet sich dabei in einer 2 Zoll weiten Schale, worin es nur etwa $^3/_4$ Zoll hoch zu stehen braucht. Man hält die mit Quecksilber übervoll gemachten Röhrchen, wie beim Torricelli'schen Versuche, mit dem Finger zu und kehrt sie in das Quecksilber um; ebenso bringt man sie in das Gefäß des Compressionsapparates. Man braucht also nur wenig Quecksilber. Die Gase brauchen nicht besonders getrocknet zu werden, nur muß man dieselben nicht eher auffangen, als bis man sicher zu sein glaubt, daß alle atmosphärische Luft aus der Retorte ausgetrieben ist.

Schweflichtsaures Gas erhält man durch Erhitzen von 1 Theil Vitriolöl — nicht engl. Schwefelsäure — mit $^1/_5$ Kupferfeilspänen.

Cyangas durch gelindes Erwärmen von Cyanquecksilber.

Ammoniakgas durch Erhitzen von 1 Theil gepulvertem Salmiak mit 2 Thln. zerfallenem gebranntem Kalk. Die Erhitzung kann in jedem Falle mit der gewöhnlichen einfachen Weingeistlampe bewirkt werden, muß aber namentlich beim schweflichtsaurem Gase langsam geführt werden, da die Masse sonst stark aufschäumt. Andere Gase, als die angeführten, erfordern zum Flüssigwerden entweder einen zu hohen Druck oder lassen sich, wie das Chlor, nicht gut mit Quecksilber absperren.

C. Versuche über die Mischung von Dämpfen mit Gasen.

Fig. 530.



Diffusion der Gase. Wollte man über diesen Punkt noch 312
genauere Versuche machen, als den schon in §. 81 angeführten, so könnte man von zwei Gefäßen, die mit Hahnen versehen sind, das eine mit Kohlensäure, das andere mit Wasserstoffgas füllen, sie, wie Fig. 530 zeigt, auf einander setzen und durch einen Kautschukstreifen vereinigen. Nach einigen Stunden hat die gleichförmige Mengung stattgefunden und man könnte die Anwesenheit beider Gase in jedem Gefäße zeigen, indem man aus jedem eine Portion mit Sauerstoffgas mengt und verpufft und eine andere Portion mit Kalkwasser schüttelt.

Um das Gesetz nachzuweisen, daß Gase, welche im Zustande 313
der Sättigung einen Raum erfüllen, auch wenn sie mit andern Gasen gemengt sind, dieselbe Spannung annehmen, wie im lee-

ren Raume, macht man dieselbe Vorbereitung, wie zum Beweise des Mariotte'schen Gesetzes für Verdünnung, §. 65, und läßt dann in die Barometerröhre mittelst des gekrümmten Endes einer Pipette einige Tropfen Schwefeläther aufsteigen. Das Quecksilber sinkt sogleich. Bringt man aber durch Einsenken der Röhre das Volumen der Luft auf das frühere zurück, so erhält man eine um so viel größere Spannung, als die Spannung des Aetherdampfes im leeren Raume für die gegebene Temperatur beträgt.

314 Um die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem Luftdrucke zu zeigen, dienen außer dem bereits bei der Luftpumpe §. 71, 7) angeführten Versuche noch folgende.

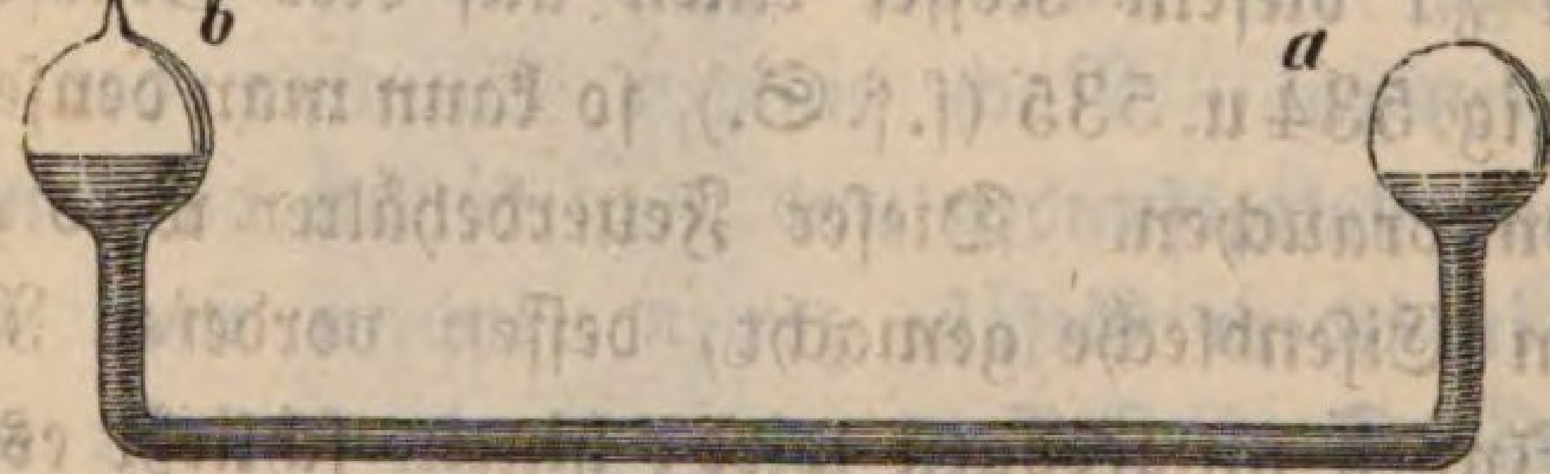
Fig 531.



a) Der Wasserhammer. An eine starke einerseits zugeschmolzene Glasröhre von etwa 1 Fuß Länge wird eine Kugel angeblasen, Fig. 531. Dann die schon früher auf dieser Seite verdünnte Röhre in eine Spitze ausgezogen. Man füllt die Röhre etwa bis an die Kugel mit Wasser und treibt durch Kochen davon so viel weg, daß sie nur noch etwas über die Hälfte gefüllt bleibt, worauf man noch während dem Kochen die feine Spitze zuschmelzt. Da die Röhre nun luftleer ist, so kocht das Wasser in ihr schon von der Handwärme, wenn man es in die Kugel bringt, und die Röhre in beinahe horizontaler Lage in die Hand nimmt. Kehrt man die Röhre rasch in die senkrechte Lage um, so daß das Wasser schnell in das andere Ende der Röhre fallen kann, so schlägt es wie Quecksilber in dem Barometer unter lautem Schalle an das Glas, ohne daß dieses aber springt, wenn die Röhre beim Zuschmelzen auf dieser Seite nicht geschwächt und gut verkühlt wurde. Diese Arbeit erfordert aber wegen der größern Glasmasse ziemlich starkes Feuer und eine schon geübte Hand.

b) Der Pulshammer. An eine Röhre von 1—2 Millimeter innerer Weite werden nach einander zwei Kugeln angeblasen, worauf man die Röhre, wie Fig. 532 zeigt, zweimal rechtwinklicht biegt und das Ende der Röhre in eine Spitze auszieht. Die Kugel *a* sammt der Röhre wird nun mit 70 — 80 procentigem Weingeist gefüllt, der durch Fernambuk roth gefärbt wurde, durch Kochen die übrige Luft ausgetrieben und die Spitze an der Kugel *b* zugeschmolzen; es soll nur etwa eine halbe Kugel voll Weingeist übrig bleiben.

Fig. 532.



Nimmt man nun die eine Kugel in die Hand, so daß die beiden Kugeln nach oben sehen und das Verbindungsstück *c* horizontal steht, so wird der Weingeist unter lebhaftem Aufwallen in die andere Kugel getrieben, wobei man in der Hand eine bedeutende Erkältung verspürt.

Fig. 533.



c) Einen ähnlichen Versuch kann man auf die in Fig. 533 dargestellte Weise machen. *a* ist eine gewöhnliche Vorlage (Kolben) mit langem Halse, dessen Rand man an der Lampe abrundet und ein wenig erweitert, ein gut schließender Pfropf wird zu dem Halse ausgesucht und dann der Kolben etwas mehr als zur Hälfte mit Wasser gefüllt, das man in heftiges Sieden versetzt; wenn man glaubt alle Luft ausgetrieben zn haben, faßt man den Hals des Kolbens mit einem Tuche, nimmt den Kolben vom Feuer und verkorkt denselben schnell; er wird nun umgekehrt, wie die Figur zeigt, und man bemerkt kein Kochen an dem Wasser, bis man kühles Wasser auf den Kolben gießt, wobei das Wasser im Kolben sogleich aufwallt.

d) Der Papinianische Topf. Für den Unterricht kann es sich nur darum handeln, die Zunahme der Siedehitze bis zum Drucke einiger Atmosphären zu zeigen. Zu diesem Zweck gibt man dem Topfe am besten die Form eines kleinen cylindrischen Dampfkessels von etwa 5 Zoll Weite und 12 — 15 Zoll Länge; wozu Blech von 3 Millimeter Dicke erforderlich ist, um ihn mit vollkommener Sicherheit auf 4 Atmosphären Ueberdruck gebrauchen zu können. Der Kessel muß nebst dem Sicherheitsventile einen Probirhahn haben, um sich bei allenfallsigem anderen Gebrauche vom Wasserstande überzeugen zu können, der, wie immer, nicht unter die Feuerfläche sinken darf, sodann einen Dampfhahn, und ein einschraubbares Thermometer. Das Thermometer muß so gerichtet werden, daß sein Siedepunkt außerhalb des Kessels sich befindet, seine Skale braucht nur bis etwa 160° zu gehen und kann allenfalls auch nur von 5 zu 5 Graden getheilt sein; es wird mit Mennigkitt in seine Fassung befestigt. Richtet man zu diesem Kessel einen auf vier Glasfüßen ruhenden Feuerbehälter, wie Fig. 534 u. 535 (s. f. S.), so kann man denselben auch zu elektrischen Versuchen brauchen. Dieser Feuerbehälter wird ganz einfach aus einem gebogenen Eisenbleche gemacht, dessen vorderer Rand *a a*, Fig. 535, etwas nach Innen umgebogen wird; hinten schließt es um den Kessel und geht in ein kurzes Kamin über, das unter einem anderen gut ziehenden Kamine endet. Ein altes, in einem mäßig stumpfen Winkel gebogenes Ofenrohr braucht nur an einem Schenkel nahe am Winkel ⊣förmig aufgeschnitten und an den beiden Lappen aufgebogen zu werden,

um hierfür brauchbar zu sein. Läßt man vom Schlosser ein eigenes Blech richten, so wird es über dem Roste geschlossen und mit einem Thürchen

Fig. 534.

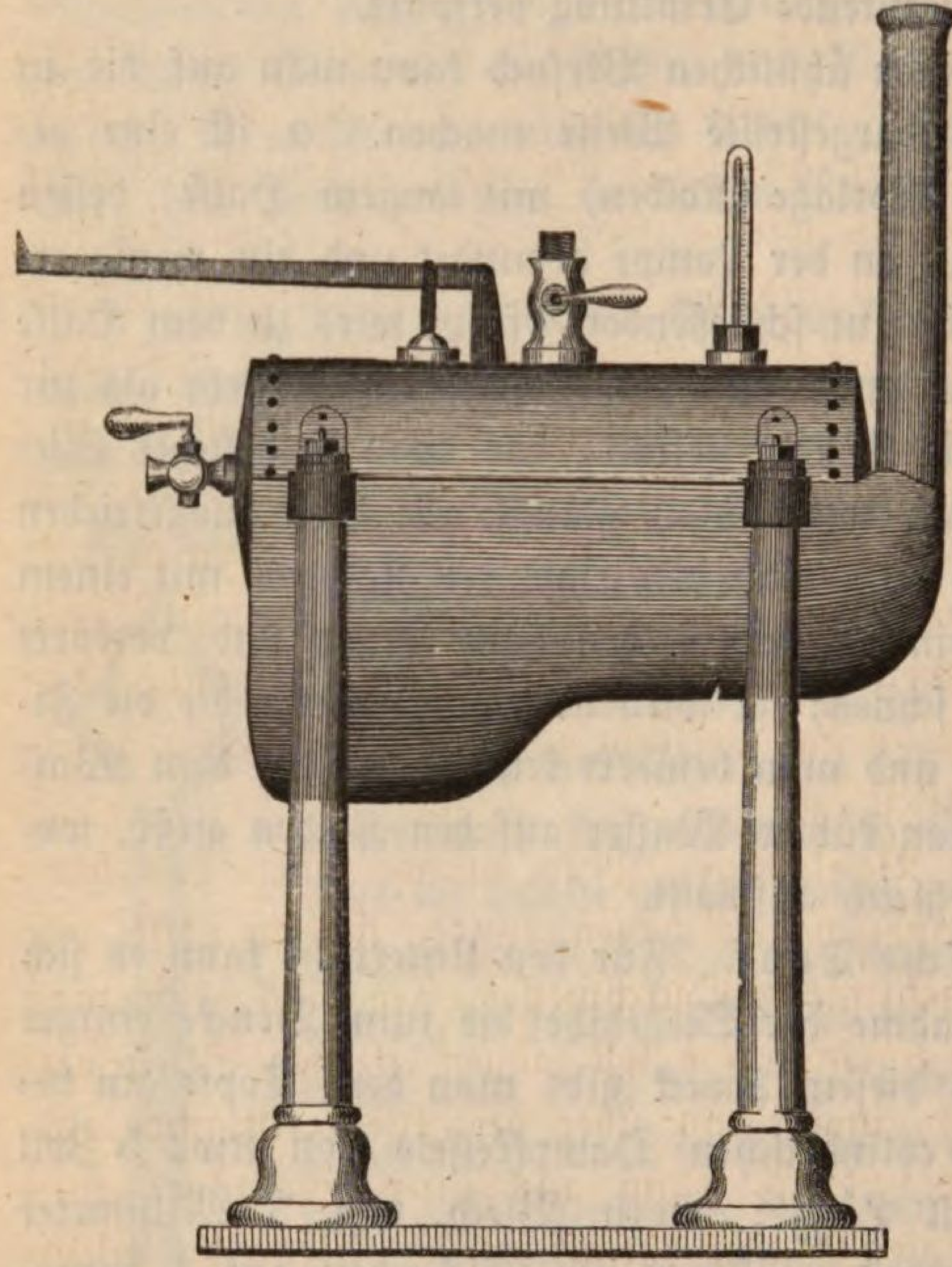
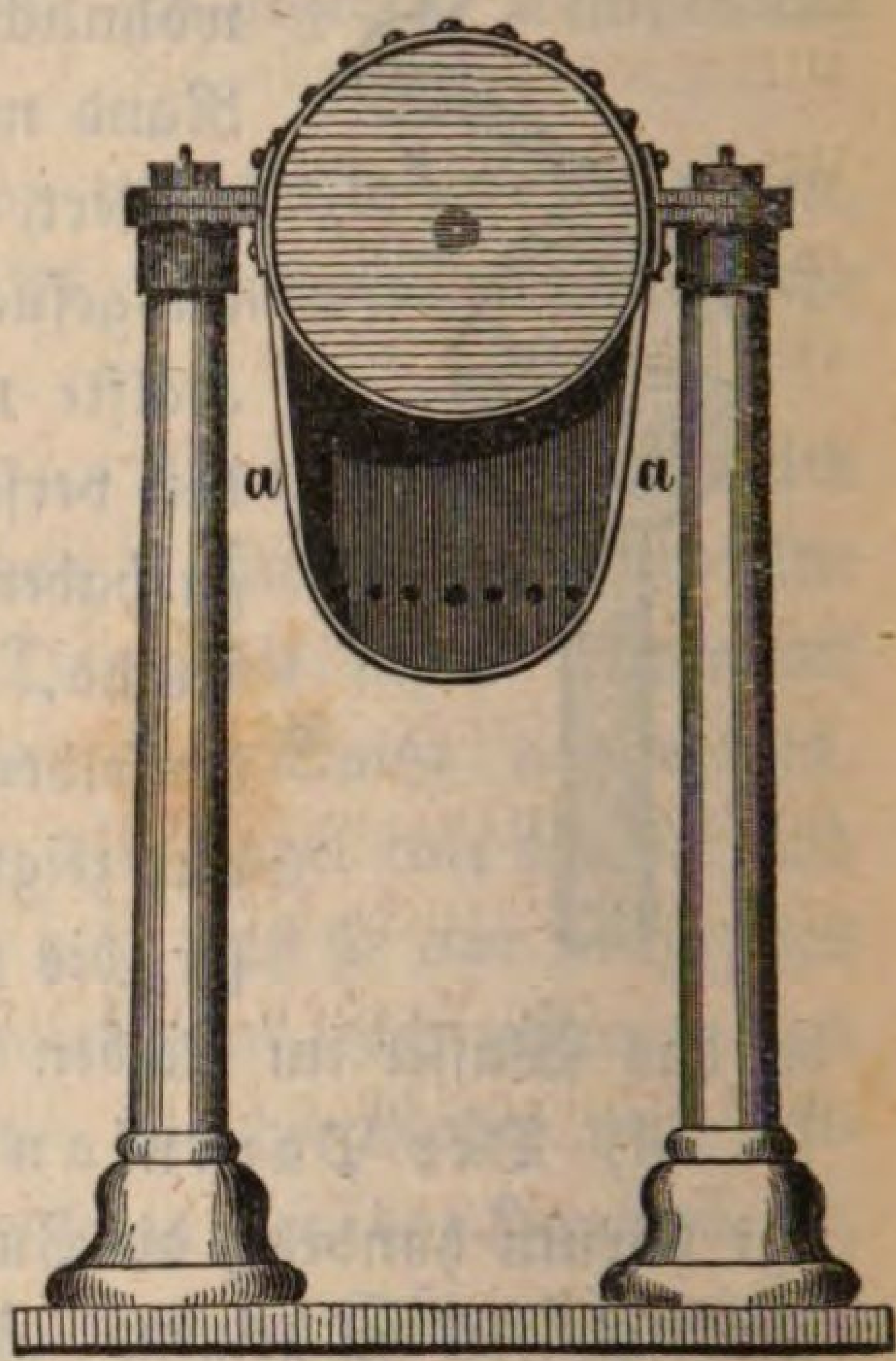


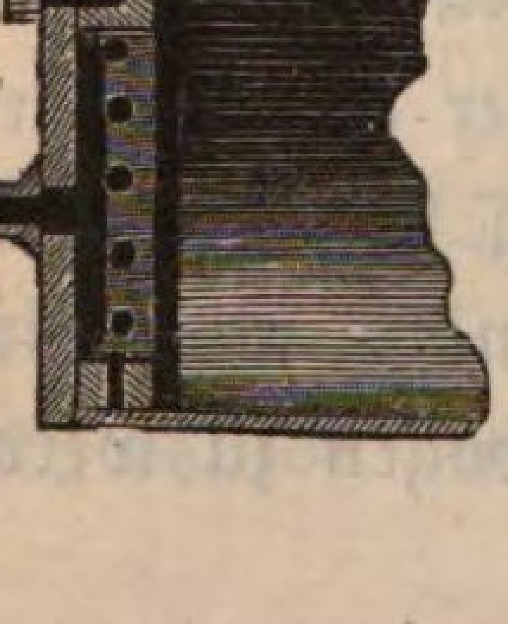
Fig. 535.



versehen. Daß man sich immer überzeugen müsse, ob bei diesen Versuchen nicht bereits zu viel Wasser verdampft sei, ob also der Kessel noch bis über die Feuerfläche Wasser habe, ist eine bekannte Vorsichtsmaßregel. Allein bei so kleinen Dimensionen ist ein Wasserstandsrohr nicht anwendbar und der Probirhahn gibt bei höherem Drucke scheinbar immer Dampf, da das sehr heiße Wasser bei seinem Austritte verdampft; fährt man aber mit der flachen Hand durch den Dampfstrom, so zeigt die starke Benetzung derselben ziemlich sicher, ob tropfbares Wasser noch mit ausströmt, da sich nicht alles Wasser in Dampf verwandelt.

Wollte man an dem Kessel eine Oeffnung zur Reinigung haben, oder um zu anderen Versuchen Gegenstände in denselben bringen zu können, so dürfte es bei so kleinen Dimensionen am einfachsten sein, in das vordere Ende einen starken eisernen Ring einzunieten und auf diesen durch Schrauben eine Eisenplatte zu befestigen, welche den Probirhahn trägt, wie Fig. 536 zeigt.

Fig. 536.



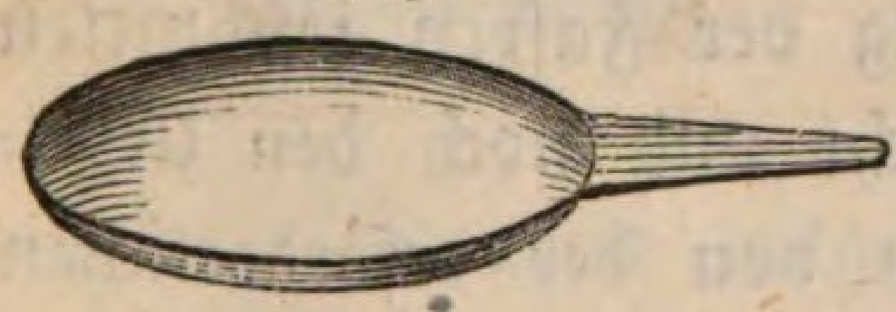
Diese allgemeinen Angaben über die Verfertigung

genügen, da man sich in diesem Betreffe doch an Jemanden wenden muß, der in solchen Arbeiten geübt ist.

Für die hierher gehörigen Versuche berechnet man zuerst das Gewicht, welches nach der Ventilweite für jede Atmosphäre erforderlich ist, legt den Kessel unter die Wage, hängt den Hebel des Ventils an seinem Druckpunkte auf, und verrückt den Läufer, bis er dem in die andere Wagschale gelegten Gewichte Gleichgewicht hält; die jeder halben Atmosphäre zukommende Stelle des Gewichts wird auf dem Hebel vorläufig bezeichnet. Da, wo die Ventilöffnung und die Sitzfläche des Ventils zusammenstoßen, müssen sie eine scharfe Ecke bilden und die Weite muß hier sehr genau gemessen werden. Man setzt sodann das Thermometer ein, und heizt nun den Kessel bei verschiedener Belastung des Ventils jedesmal bis zum eigentlichen Abblasen des letzteren, nicht nur bis etwa da und dort Dampf unter ihm herausdringt, und controlirt so die Belastung des Ventils, bevor man die Zeichen definitiv auf dem Hebel einhaut. Auf ähnliche Weise werden dann auch die Versuche gemacht, und gezeigt, wie mit dem Drucke die Siedehitze steigt.

Der Leidenfrost'sche Versuch. Man nimmt einen aus dün- 315
nem Silber- oder besser Platinblech getriebenen runden flachen Löffel von 2 Centimeter Durchmesser, Fig. 537, den man mit einem einige Zoll langen eisernen Stiele versieht, macht ihn über der Weingeistlampe glühend und läßt dann aus einer Glasröhre einen Tropfen Wasser darauf fallen.

Fig. 537.



Wenn die Weingeistflamme recht brennt, kann man bald nach einander mehrere Tropfen auf den Löffel bringen. Bleibt der Löffel auf dem Feuer, so verdunstet das Wasser unter fortwährender zitternder und rotirender Bewegung, wobei größere Tropfen oft eine fast eckige Gestalt annehmen, sehr langsam, und das letzte kleine Kügelchen verpufft auf einmal. Nimmt man aber den Löffel vom Feuer, so zeigt das Wasser bald, nachdem die Glühhitze aufgehört hat, Adhäsion zum Löffel und verdampft unter Aufkochen sehr rasch; gleiches geschieht, wenn der Löffel beim Auftropfen des Wassers zu stark abgekühlt wird. Auch auf anderen Metallen, selbst auf Glas, zeigen sich die gleichen Erscheinungen. Mit einem silbernen Kaffeelöffel läßt sich der Versuch wohl machen, wenn die Weingeistlampe gut brennt.

Die Hygrometer. Die Construction derselben, so wie deren Be- 316
handlung im Allgemeinen, ist bekannt, und von einer Selbstanfertigung kann kaum die Rede sein, wie überhaupt nicht bei Instrumenten, die genauere Messungen beabsichtigen. Außer dem Schwefeläther-Hygrometer und dem Psychrometer haben von den eigentlichen Hygrometern, nämlich von jenen, welche das Verhältniß des in der Luft vorhandenen Wasser-

dampfes zu der zur Sättigung für die gegebene Temperatur erforderlichen Menge desselben mehr oder weniger richtig angeben sollen, nur das Haar- und das Fischbeinhygrometer allgemeinere Anerkennung gefunden. Alle die anderen Substanzen, welche zu gleichen Zwecken vorgeschlagen wurden, sind theils weniger constant in ihren Anzeigen, theils nie unter sich übereinstimmend; den Vorzug scheint übrigens das Haarhygrometer zu verdienen, und zwar um so mehr, da man für dasselbe Tabellen hat, welche aus dem Feuchtigkeitsgrade und der Temperatur den wirklichen Wassergehalt angeben, wenn sie gleich, strenge genommen, auch nicht für alle Instrumente passen.

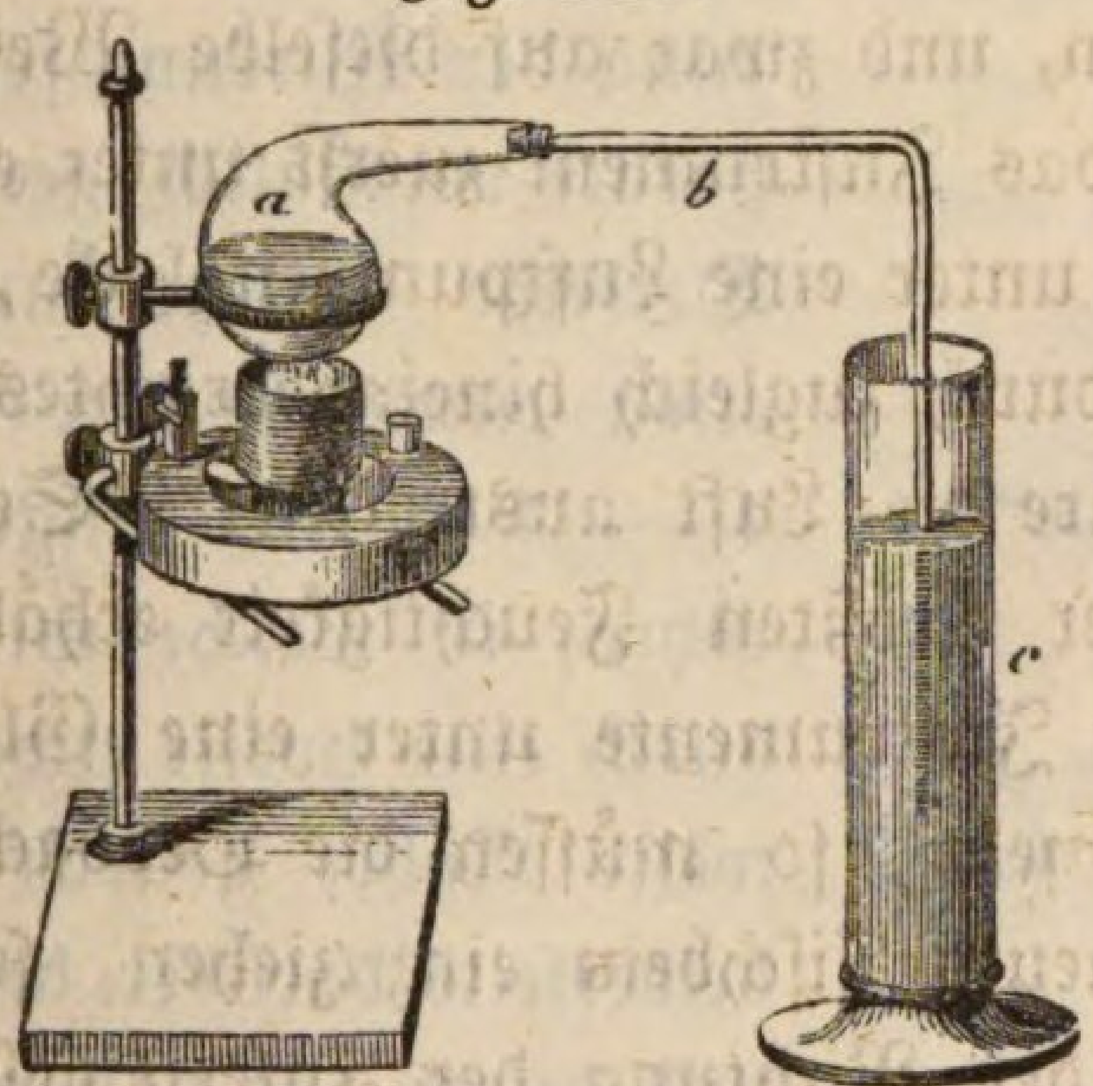
Bei allen derartigen Instrumenten muß man übrigens von Zeit zu Zeit die beiden festen Punkte revidiren, und zwar auf dieselbe Weise, wie man sie neu bestimmt, indem man das Instrument zuerst unter eine mit Quecksilber gesperrte Glasglocke oder unter eine Luftpumpenglocke, welche auf ihrem Teller steht, bringt; und durch zugleich hineingebrachtes Chlorcalcium oder Nordhäuser Schwefelsäure die Luft austrocknet. So erhält man den Nullpunkt; den Punkt der größten Feuchtigkeit erhält man, wenn man nasses Fließpapier zu dem Instrumente unter eine Glasglocke bringt. Stimmen die Punkte nicht mehr, so müssen die Beobachtungen corrigirt werden. Wird es nöthig, neues Fischbein einzuziehen, so ist zu bemerken, daß dasselbe senkrecht zu der Richtung der Fasern geschnitten sein muß, was die Sache an sich schwieriger macht und noch den Uebelstand mit sich führt, daß man schwer Fischbein von der erforderlichen Breite im Handel bekommt. Soll ein neues Haar eingezogen werden, so wird dieses vorher durch Kochen mit Potaschenlösung entfettet. Da nicht alle Haare gleiche Empfindlichkeit haben, so hat der Aufhängepunkt gewöhnlich eine Correctionsschraube, und man kann daher die Länge des Haares so lange ändern, bis der Zeiger bei den festen Punkten mit der schon vorhandenen Skale, wenigstens nahe zu, wieder übereinstimmt.

Alle diese Unbequemlichkeiten hat man beim Schwefelätherhygrometer und beim Psychrometer nicht, doch ist das erstere umständlich im Gebrauche, was auch beim letzteren zum Theil der Fall ist. Anfänglich leiten nämlich die Fäden zu viel Wasser auf die umwickelte Kugel, so daß sich bald ein Tropfen an derselben bildet, was zu ganz unrichtigen Resultaten führt, und sehr bald leiten sie gar kein Wasser mehr zu, indem sich ihre feinen Kanälchen verstopfen. Dasselbe tritt auch später bei der feinen Leinwand ein, mit der die Kugel umwickelt ist, und noch früher, wenn man Baumwollenzeug anwendet; sie wollen beinahe keine Feuchtigkeit mehr annehmen, was eben wieder unrichtige Resultate veranlaßt, da man doch nicht täglich frische Leinwand umbinden kann. Das Psychrometer darf an keiner Stelle aufgehängt werden, wo etwa der durch das

Haus gehende oder sonst zufällig verstärkte Zugwind daran vorbeistreicht. Bei dem Schwefelätherhygrometer hat man noch die besondere Schwierigkeit, daß die Nähe des Beobachters Einfluß auf das Resultat hat, während doch die auch schon vorgeschlagene Beobachtung mit dem Fernrohre die Umständlichkeit noch vermehrt. Um den richtigen Thaupunkt zu erhalten, wird gewöhnlich das Mittel zwischen jenen beiden Temperaturen des inneren Thermometers genommen, bei welcher sich der Beschlag zuerst zeigt und bei welcher er wieder verschwindet.

Latente Wärme des Wasserdampfes. Um die große Menge 317
latenter Wärme zu zeigen, welche in dem Wasserdampfe enthalten ist, dient am besten der in Figur 538 dargestellte Apparat.

Fig. 538.



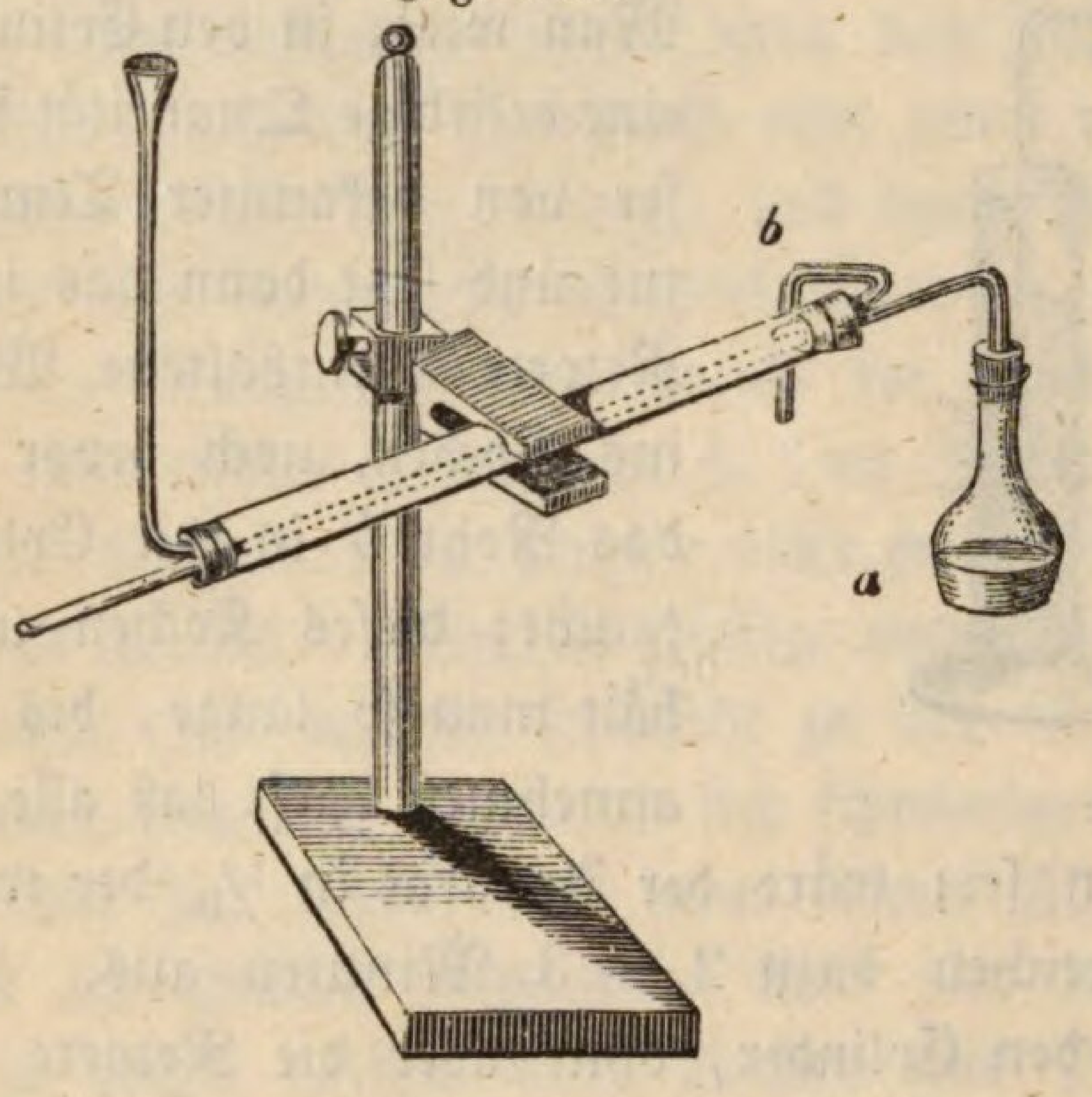
Man wiegt in den Cylinder *c* eine beliebige Quantität Wasser von bekannter Temperatur und setzt dann das in der Retorte *a* enthaltene Wasser ins Kochen, noch bevor man das Rohr *b* in den Cylinder taucht; dieses Kochen unterhält man so lange, bis man annehmen darf, daß alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben sei; wäre der Apparat in $\frac{1}{10}$ der wirklichen Größe abgebildet, so reichen dazu 2 — 3 Minuten aus. Man taucht hierauf das Rohr *b* in den Cylinder, ohne aber die Retorte ganz vom Feuer zu nehmen, und das Kochen zu unterbrechen; man dreht sie nur aufwärts. Der Wasserdampf verdichtet sich, und das Wasser steigt im Cylinder. Ist es etwa um $\frac{1}{10}$ vermehrt, so zieht man das Rohr *b* heraus und wiegt das Wasser wieder, nachdem man seine Temperatur bestimmt hat. Bei der letzteren Arbeit muß man ein Thermometer mit sehr kleiner Kugel anwenden und nur diese eintauchen, da man durch Eintauchen des Instruments mit seiner Skale der geringen Wassermenge viel zu viel Wärme entziehen, und dadurch einen größeren Fehler herbeiführen würde, als der ist, den man durch das Eintauchen bis zum Gipfel der Quecksilbersäule vermeiden will.

Die Rechnung ist einfach, wie folgendes Beispiel zeigt. Das Wasser wog vor dem Versuche 60 Gramm, nachher 66,1, die Temperatur war vor dem Versuche 12° C., nachher 68,5; die 60 Gramme Wasser wurden also um 56,5° wärmer, also um $60 \,.\, 56{,}5 = 3390$ Wärmeeinheiten; 6,1 Gramm Dampf wurden aber auch um 31,5° C. kälter, gaben also $31{,}5° \,.\, 6{,}1 = 192$ Wärmeeinheiten an das andere Wasser ab, also rühren von der

latenten Wärme nur 3198 Wärmeeinheiten her, welche 6,1 Gramm Dampf abgegeben haben, und 1 Gramm hat also 524 Wärmeeinheiten abgegeben. Obgleich man durch einen solchen Versuch, wegen dem Verluste an das Glas und die Luft, so wie wegen des Wassers, welches sich schon im Rohre *b* condensirt, stets die latente Wärme des Dampfes zu klein erhält, so ist derselbe gleichwohl sehr geeignet, das Factum an sich zu zeigen und auch einen annähernden Begriff von der Menge der im Wasserdampfe latenten Wärme zu geben.

318 **Der Kühlapparat.** Ein sehr einfacher und für kleine Arbeit sehr brauchbarer Kühlapparat ist in Fig. 539 dargestellt, der zur Erläuterung der Wirkung solcher Apparate vorzüglich geeignet ist. Derselbe besteht aus einer etwa einen Zoll weiten und 1 — 1 ½ Fuß langen Glasröhre, in welche mitten hindurch eine zweite etwa ¼ Zoll weite Röhre gesteckt ist, die beiderseits darüber herausragt und durch gut passende Korkstopfen geht; diese zweite Röhre ist auf der einen Seite, wo sie nur wenig vorsteht, etwas erweitert, auf der anderen Seite aber, wo sie 3 bis 4 Zolle vorsteht, etwas verengt; auf der letzteren Seite geht durch den Kork eine zweite, nur etwa eine Linie weite und 5 — 6 Zoll lange Röhre hindurch, welche in einem etwas spitzigen Winkel gebogen ist und sich in einen kleinen Trichter endet. Am anderen Ende geht ebenfalls eine zweite zweimal rechtwinklicht gebogene Röhre *b* durch den Kork. Diese beiden engen Röhren befinden sich einander gerade gegenüber. Man befestigt nun diesen Kühlapparat so, daß die Röhre mit dem Trichter senkrecht steht, daß also die Kühlröhre eine etwas geneigte Lage erhält, ihr oberes Ende aber doch noch niedriger liegt, als der Trichter, und steckt in das erweiterte Ende der inneren Röhre den Hals einer kleinen Retorte, welche die zu destillirende Flüssigkeit enthält, oder das von einer kleinen Flasche *a* kommende gekrümmte Rohr. Durch den Trichter füllt man Wasser ein, welches das weite Rohr erfüllt und, wie es allmälig warm geworden ist, durch *b* wieder abläuft, dadurch werden die in *a* erzeugten Dämpfe condensirt. Das Wasser kann man durch einen Heber von passender Weite aus ei-

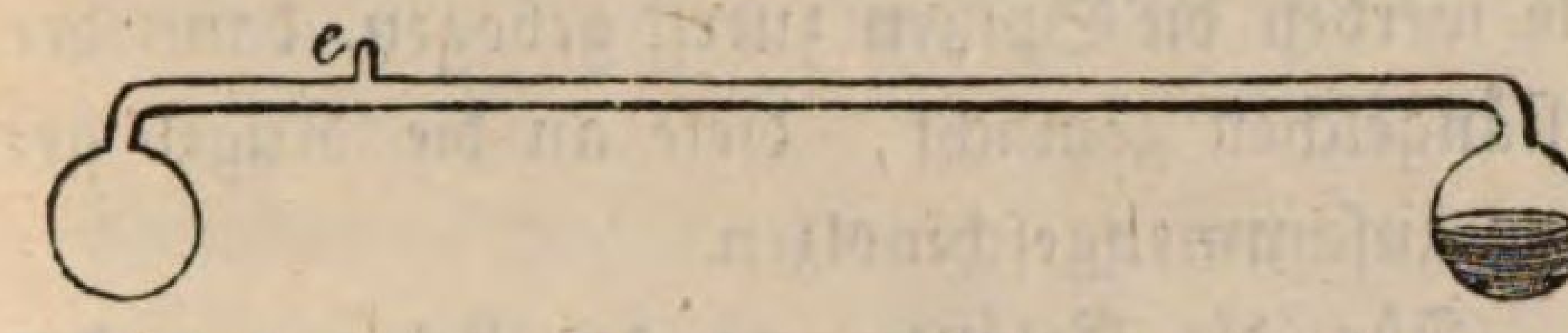
Fig. 539.



nem höher stehenden Gefäße in den Trichter leiten und so den Zufluß nach Bedarf reguliren, oder statt des Hebers ein Mariotte'sches Gefäß anwenden.

Der Kryophor. Er ist in Fig. 540 in etwa $1/8$ der natürlichen 319

Fig. 540.



Größe abgebildet, doch ist es wegen dem Einstecken in Kältemischungen bequem, wenn die beiden Arme der Röhre, welche die Kugeln tragen, etwas länger sind als die Abbildung zeigt. Die Anfertigung des Glases geschieht wie beim Pulshammer. Auch hier zieht man an der Schweißstelle der Röhren dieselben in ein seitliches ausgespitztes Röhrchen aus, oder läßt eine solche Spitze an der einen Kugel. Zur Füllung wird Wasser genommen und das Auskochen muß über einem breiten Kohlfeuer geschehen, damit die Röhre in ihrer ganzen Ausdehnung erhitzt werde. Wenn das Kochen des Wassers lange genug gedauert hat, und die eine Kugel von dem noch vorhandenen Wasser nicht mehr ganz zur Hälfte gefüllt wird, schmilzt man die Oeffnung der Spitze mit dem Löthrohre an der Weingeistlampe zu. Beim Versuche bringt man alles Wasser in die eine Kugel und taucht die andere in eine Kältemischung aus gestoßenem Eis und Kochsalz, so daß sie und ein Theil der Röhre gehörig damit bedeckt sind. Das Gefäß mit Kältemischung kann man vorher mit Eis umgeben, namentlich wenn es etwas klein ist. Es ist rathsam, den Versuch

Fig. 541.



zu unterbrechen, sobald sich in der freien Kugel eine Eisschichte gebildet hat, weil beim gänzlichen Gefrieren des Wassers die Kugel leicht zersprengt wird, was auch bei der Kugel in der Kältemischung gerne geschieht. Macht man den Versuch im Sommer, so muß man für Luftzug sorgen, damit die Luft möglichst wenig von Wasserdämpfen gesättigt sei, was bei einem zahlreichen Auditorium leicht der Fall sein kann, doch sollte der Luftzug die Kugel selbst nicht treffen.

D. Versuche zur Erläuterung der Dampfmaschine.

Heron's rotirende Kugel. Man bläst eine 320 etwas große Kugel von Glas mit zwei Spitzen, die man durch einen Träger von Draht steckt und wie Fig. 541 krümmt. Die Kugel wird erwärmt und dann durch Erkalten, indem man die eine Spitze mit

dem Finger verschließt, eine kleine Portion Wasser hineingebracht. Bringt man nun das Wasser über der Weingeistlampe unter langsamem Drehen der Kugel zum Sieden, so fängt diese durch den Rückstoß der ausströmenden Dämpfe rasch zu laufen an. Es ist sehr gut, wenn man auch die Träger von Glas macht; in diesem Falle werden die Spitzen zuerst gebogen, dann der Träger aus zwei dünnen Glasstängelchen gemacht, diese an die Kugel gesteckt und nachher erst im Bogen zusammengeschmolzen.

321 **Die Dampfmaschine.** Für die Erläuterung der Lehre von der Dampfmaschine kommt es vor Allem darauf an, eine klare Vorstellung von der Steuerung zu geben, und für die Niederdruckmaschinen von der Wirkung des Condensators. In letzterer Beziehung darf man aber auf den in §. 309 beschriebenen Versuch zurückkommen.

Was nun die Steuerung betrifft, so genügt es, irgend eine der verschiedenen Vorrichtungen zu erläutern, wodurch der neue Dampf bald über, bald unter den Kolben gebracht und der ausgediente stets wieder abgeleitet wird, also die Steuerung einer doppeltwirkenden Maschine zu berücksichtigen, da andere doch nur selten gebraucht werden. Am zweckmäßigsten wählt man hiezu die Schiebersteuerung, als die gebräuchlichste, und construirt hiefür ein sogenanntes Durchschnittsmodell. Sehr einfach kann dieses auf folgende

Fig. 543.

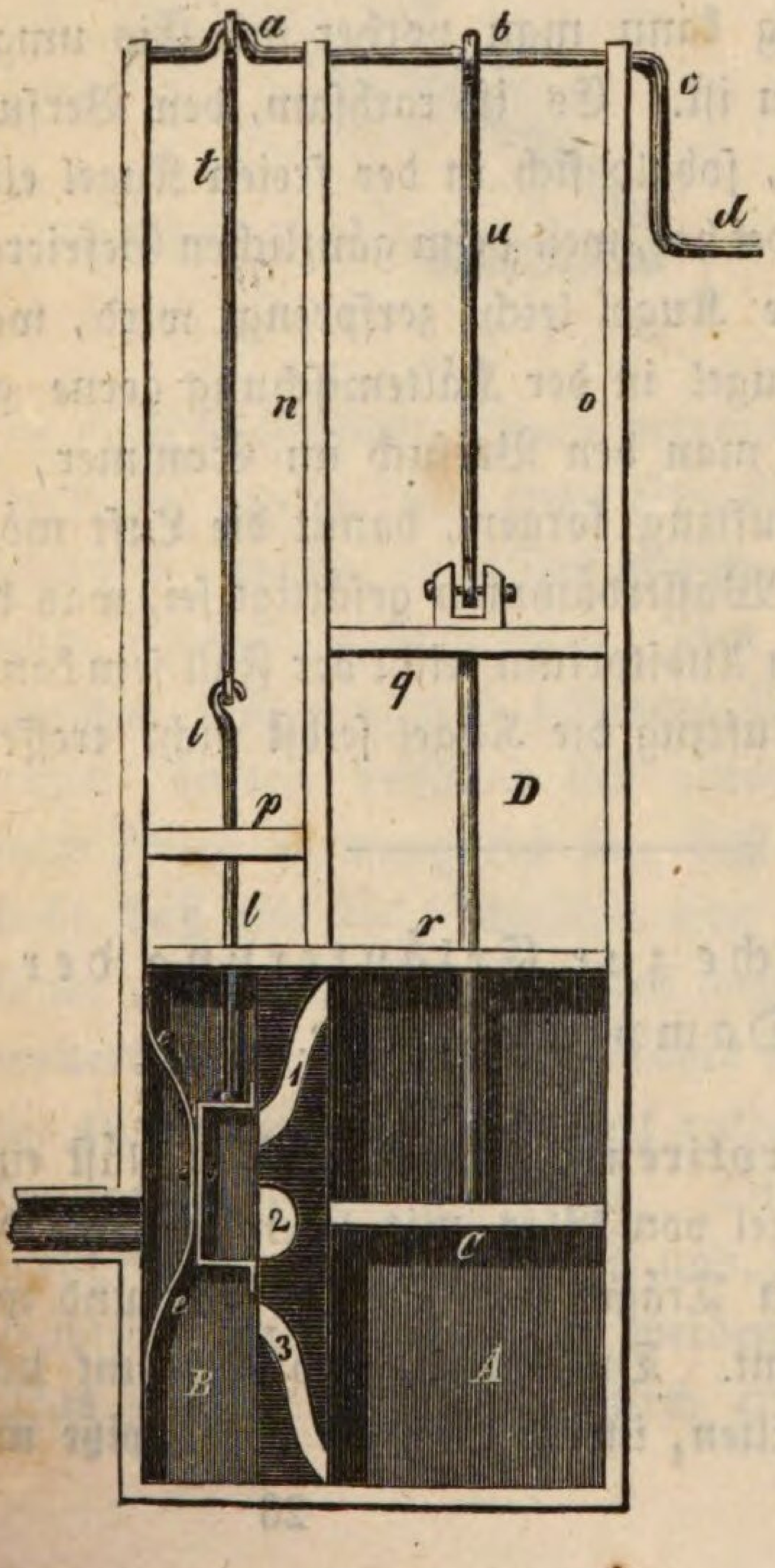
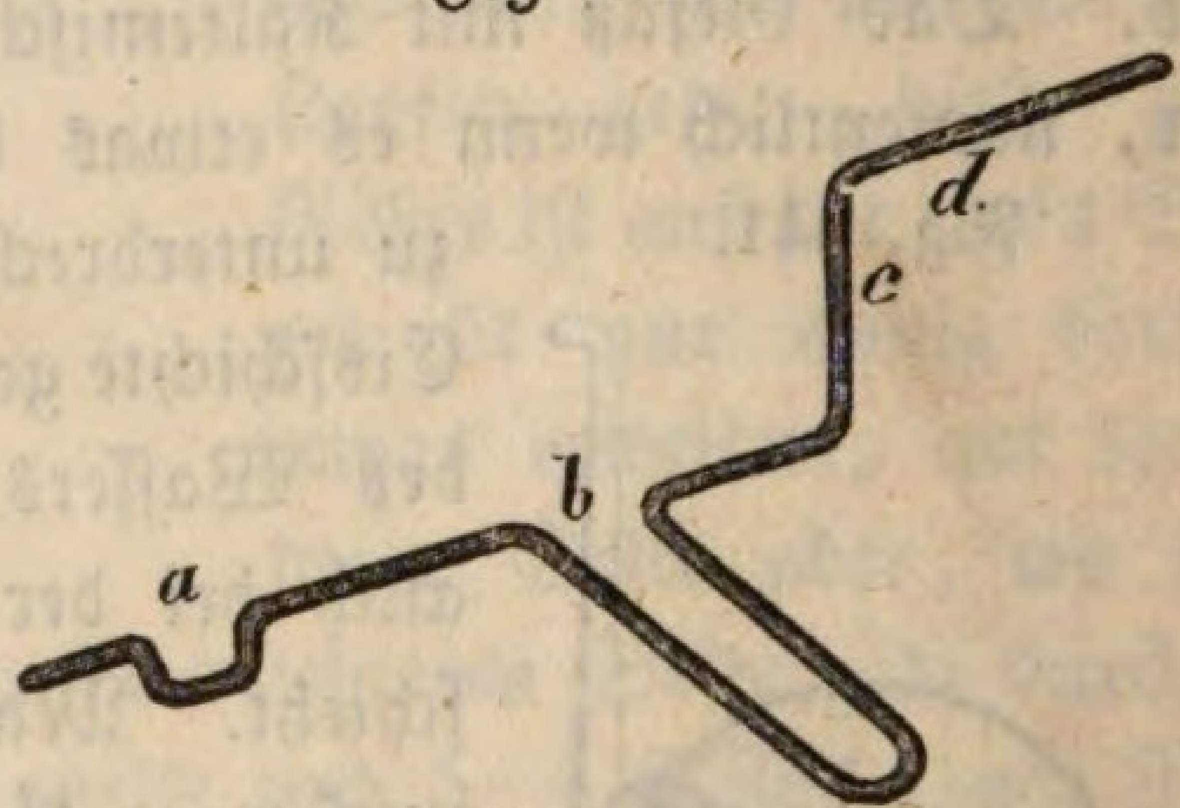


Fig. 542.



Weise eingerichtet werden. Man biegt zuerst einen etwa 1 — 1½ Linien dicken Eisendraht, wie Fig. 542, so, daß er zwei rechtwinklicht zu einander stehende Kurbeln *a b* erhält und außerdem noch eine, *c d*, deren Stellung gegen die beiden andern gleichgültig ist. Hiezu läßt man nun ein hölzernes Gestelle, wie Fig. 543, machen. Dasselbe besteht aus den beiden rechteckigen, etwa ½ Zoll tiefen Abtheilungen *A* und *B*, wovon erstere den Treibcylinder, letztere aber den Schieberkasten vorstellt.

Auf die zwischen beiden befindliche breite Scheidewand werden weiß in schwarz die Kanäle 1, 2, 3 gezeichnet, welche vom Schieberkasten zum Cylinder 1, 3 oder in die freie Luft, beziehungsweise zum Condensator führen, 2. Die Breite, mit der sie sich in dem Schieberkasten öffnen, ist gleich der Länge der Kurbel *a*, und ebenso breit macht man die Lappen des Schiebers, da hier von Expansion u. dgl. keine Rede sein kann. Der Schieber wird aus einem Messingstreifen gemacht und durch eine gegebogene, sich an die äußere Wand des Schieberkastens stemmende, auf den Schieber genagelte leichte Feder *e e* gegen die Scheidewand zwischen dem Schieberkasten und dem Cylinder gedrückt. Auf diesen beiden Kasten *A* und *B* befinden sich drei Leisten *m*, *n*, *o*, wovon *m* und *o* zugleich die äußern Wände von *A* und *B* bilden; *n* und *o* sind vom Kasten *A* an so weit hinauf geschlitzt, als der Kasten *A* lang ist; zwischen *m* und *n* befindet sich aber fest das Querstück *p*, um der Schieberstange *l l* als Führung zu dienen. Zwischen *n* und *o* wird noch vor der Zusammenfügung das Querstück, Fig. 544, in den Schlitz eingesetzt, welches sich darin leicht verschieben läßt.

Fig. 544.



q

Der Kolben *C* besteht aus einem Stückchen Holz, und die hölzerne Kolbenstange *D* wird durch das Querstück *q* und eine bei *r* befindliche Oeffnung in den Kolben *C* gesteckt und in *q* und in *C* verleimt. Zuletzt macht man die beiden Gelenkstangen *t* und *u*, von denen letztere in der Zeichnung verkürzt erscheint, weil ihre Kurbel horizontal steht, aus starkem Drahte und legt die Axe in Einschnitte der Leisten *m*, *n*, *o*, in welchen sie durch darüber eingeschlagene Drahtbügel gehalten wird. Die Schieberstange *l* wird aus Draht gemacht, unterhalb mit einer Schraube versehen, und der Schieber durch zwei Muttern so an der Stange befestigt, daß er bei horizontaler Stellung der Kurbel *a* auf der Mitte der Scheidewand zwischen *A* und *B* steht. Es ist am zweckmäßigsten, erst jetzt die Kanäle 1, 2, 3 aufzuzeichnen und sich dabei nach der Bewegung, die der Schieber wirklich macht, zu richten. Eine kleine Röhre x stellt das Dampfrohr vor. Dreht man nun an der Kurbel *c d*, so machen der Kolben und der Schieber die entsprechenden Bewegungen, so daß man diesen wichtigsten Theil der Dampfmaschine vollständig erläutern kann.

Könnte man bei *a* statt einer Kurbel eine excentrische Scheibe anbringen, so hätte man auch Gelegenheit, diesen soviel gebrauchten Maschinentheil zu erläutern, wenn man nicht etwa an einem andern Apparate eine solche hat.

Zur weitern Erläuterung der Dampfmaschinen dienen dann große Zeichnungen, wie sie bei Bassermann in Mannheim erschienen sind; vor allem aber Demonstration an einer wirklichen Maschine.

Dampfmaschinenmodelle. Daß man irgend ein Mittel besitzen 322
müsse, um von der Wirkung einer Dampfmaschine eine möglichst richtige Vorstellung zu geben, ist außer Zweifel; ob aber hiezu ein wirkliches Modell

einer Dampfmaschine nöthig sei, ist eine ganz andere Frage. Wer die Mittel dazu besitzt, wird gut thun, sich ein solches anzuschaffen; aber jedenfalls sind noch gar viele Dinge viel wichtiger und nothwendiger, als ein solches Modell. Kann man aber wirklich sich bis zu dieser Anschaffung versteigen, so dürften folgende Punkte nicht zu übersehen sein.

a) Das Modell darf nicht in sogenannter Modellmanier ausgeführt sein, d. h. es darf nicht etwa bloß ein Maschinchen sein, an welchem, mit Umgehung alles dessen, was hiefür überflüssig ist, nur irgend ein Rädchen durch Dampf herumgetrieben wird, sondern es muß genau nach irgend einer bestehenden Dampfmaschine gearbeitet sein, und sogar nach einer der gebräuchlicheren Constructionen.

b) Die Disposition der gewählten Mustermaschine muß klar und übersichtlich sein, und die Deckung des Schieberkastens durch Glas gestatten. Daß auch der Treibcylinder und die Pumpen von Glas seien, ist überflüssig. Die Zuhörer müssen die Pumpenconstruction bereits kennen, bevor von Dampfmaschinen die Rede sein kann.

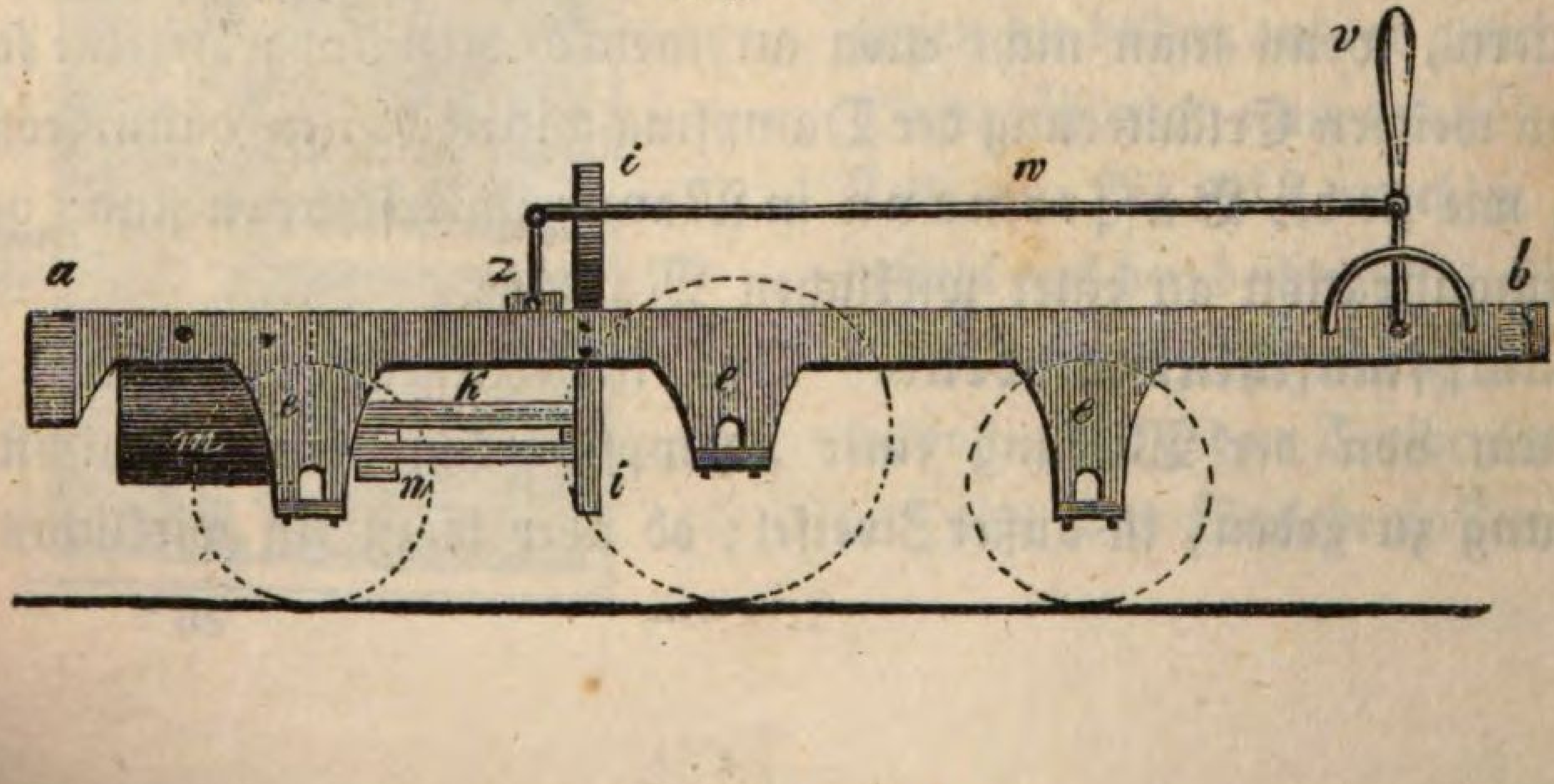
c) Das Modell darf nicht in zu kleinem Maßstabe ausgeführt sein.

Beim Gebrauche handelt es sich mehr darum, die Wirkung der einzelnen Theile durch theilweise Zerlegung zu zeigen, als die Maschine wirklich arbeiten zu lassen. Will man dieses aber thun, so ist hiefür eine Compressionspumpe — Handfeuerspritze — zweckmäßiger, als der Dampfkessel, weil es nicht rathsam ist, das Modell wieder ein Jahr lang stehen zu lassen, ohne es vollständig gereinigt zu haben, wenn es mit Dampf gebraucht wurde. Eine vollständige Reinigung ist aber sehr zeitraubend.

323 **Die Locomotive.** Eine der wichtigsten speciellen Formen der Dampfmaschine bildet die Locomotive, und es wird beim physikalischen Unterrichte nicht wohl zu umgehen sein, die Einrichtung derselben in der Hauptsache auseinanderzusetzen. Als Hauptsache erscheint aber hier die eigenthümliche Einrichtung des Kessels, sowie die Vorrichtung, um nach Belieben vor- und rückwärts fahren zu können. Beides läßt sich durch das im Folgenden beschriebene Durchschnittsmodell sehr gut erläutern.

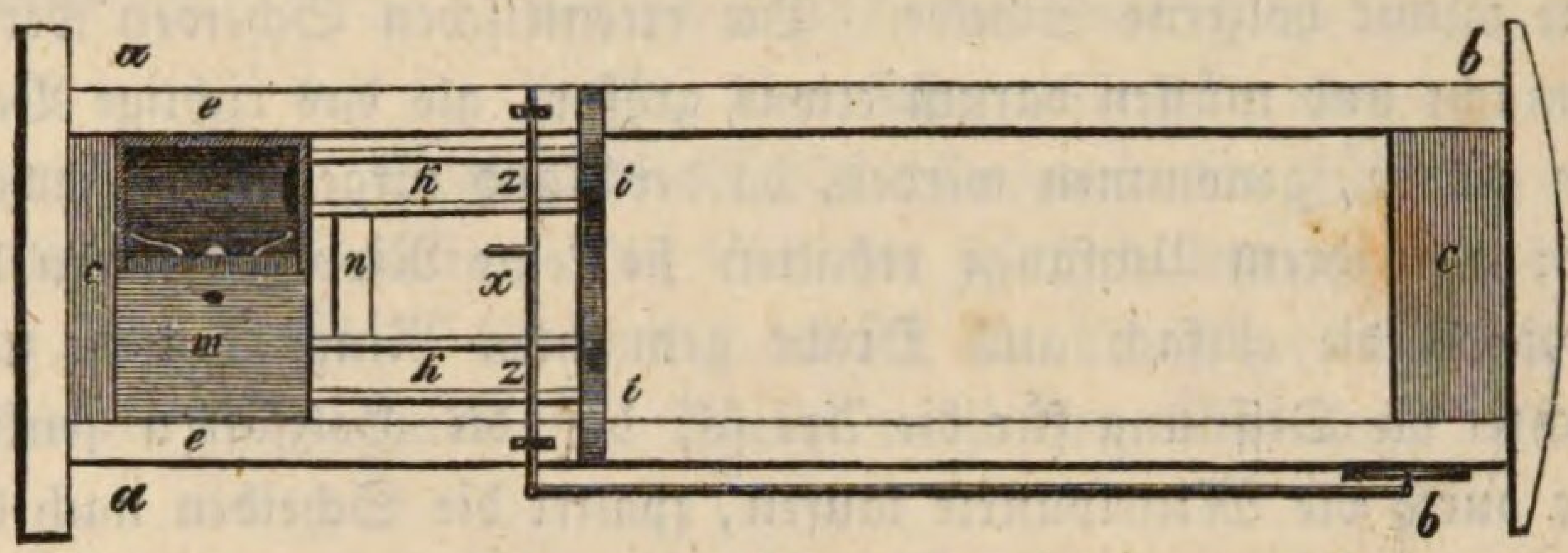
Man läßt vom Schreiner aus hartem Holze einen Rahmen *aabb* Fig. 545 und 546, machen, so daß das Modell in $1/_{10}$ der wirklichen Größe

Fig. 545.



ausgeführt wird; *cc* sind nur Füllungen in demselben. Auf die vordere Seite wird zwischen den Rahmen ein Stück Holz *m* eingelassen, so daß es

Fig. 546.



oberhalb bei *e e* mit dem Rahmen eben ist. Die Hälfte dieses Holzes arbeitet man als Durchschnitt des einen Cylinders *f*, Fig. 547, und des halben zwischen beiden Cylindern liegenden Schieberkastens *g* in der Art aus, wie Fig. 547 im Querdurchschnitte zeigt, indem man die vordere und hintere Wand stehen läßt; die obere Fläche wird durchweg so vertieft, wie im Durchschnitt Fig. 547, und dieses Holz durch Schrauben an seine Stelle befestigt. Für die Kolbenstange und die Schieberstangen werden entsprechende Löcher gebohrt. Auf die Scheidewand *h*, Fig. 547, zwischen Schieberkasten und Cylinder werden die Dampfleitungen gezeichnet, wie bei dem in Fig. 543 dargestellten Modelle; jedoch auch hier erst ganz zuletzt. *i i* ist ein senkrecht in den Rahmen gesetztes Brett, wie Fig. 548, welches die erforderlichen Ausschnitte hat für die Gelenkstange der Kolben und die von den excentrischen Scheiben kommenden Stangen; es wird ebenfalls durch Schrauben an seine Stelle befestigt. Zwischen dieses Brettchen und das Stück *mm* werden die vier geschlitzten Schienen *k* gesetzt, wovon zwei als Führungen für die Kolbenstange dienen, da man überhaupt nur die halbe Maschine bearbeitet, und die anderen darum unbenutzt bleiben; *n* ist ein zwischen zwei Schienen durch Schrauben eingesetztes Holz und dient als Führung für die Schieberstange; es ist darum aus zwei Hälften zusammengesetzt. Für die hölzernen Axen der hölzernen, nur als Scheiben gearbeiteten Räder sind in den Backen *e*, *e*, *e*, Fig. 545, Einschnitte gemacht, in welchen dieselben durch Querhölzchen mittelst Schrauben zurückgehalten werden. Die Räder laufen außerhalb des Rahmens und werden auf ihre Axen aufgeleimt; die Treibräder werden etwas kleiner gemacht, damit man sie an einem darein geleimten Griffe frei drehen kann, wenn die Maschine auf den vier Laufrädern steht.

Fig. 547.

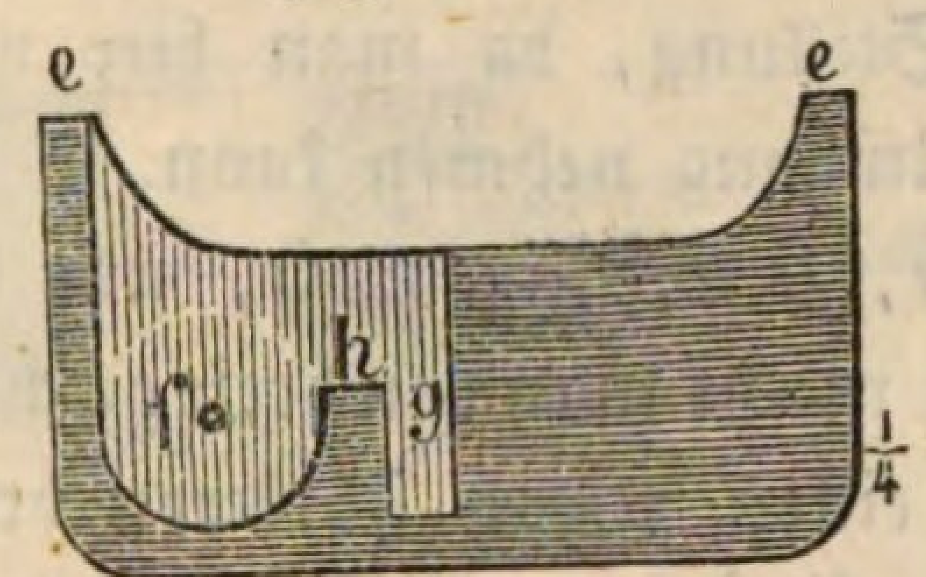
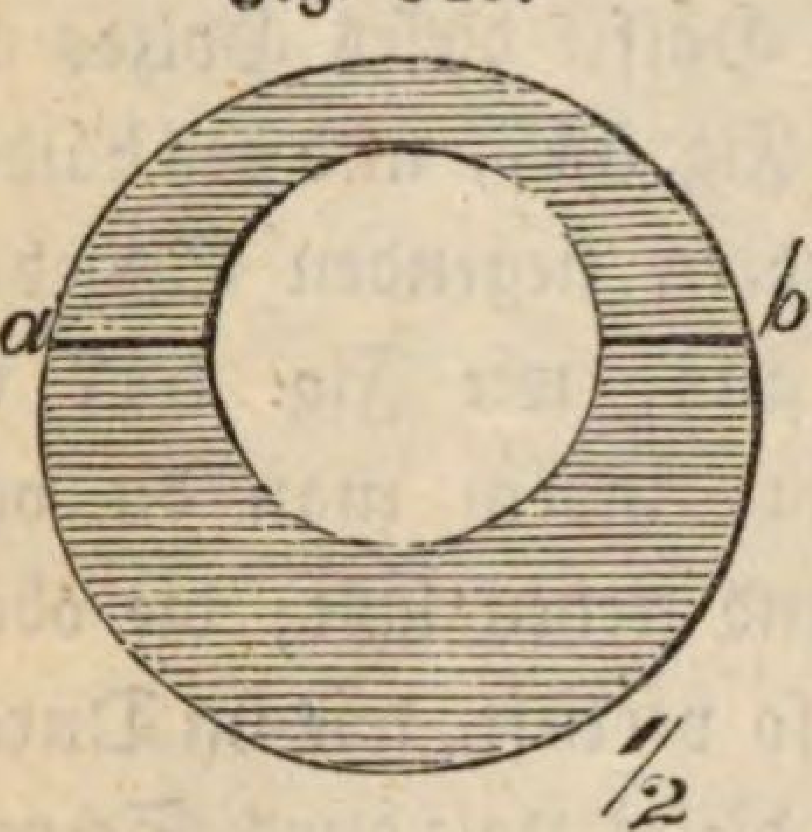


Fig. 548.



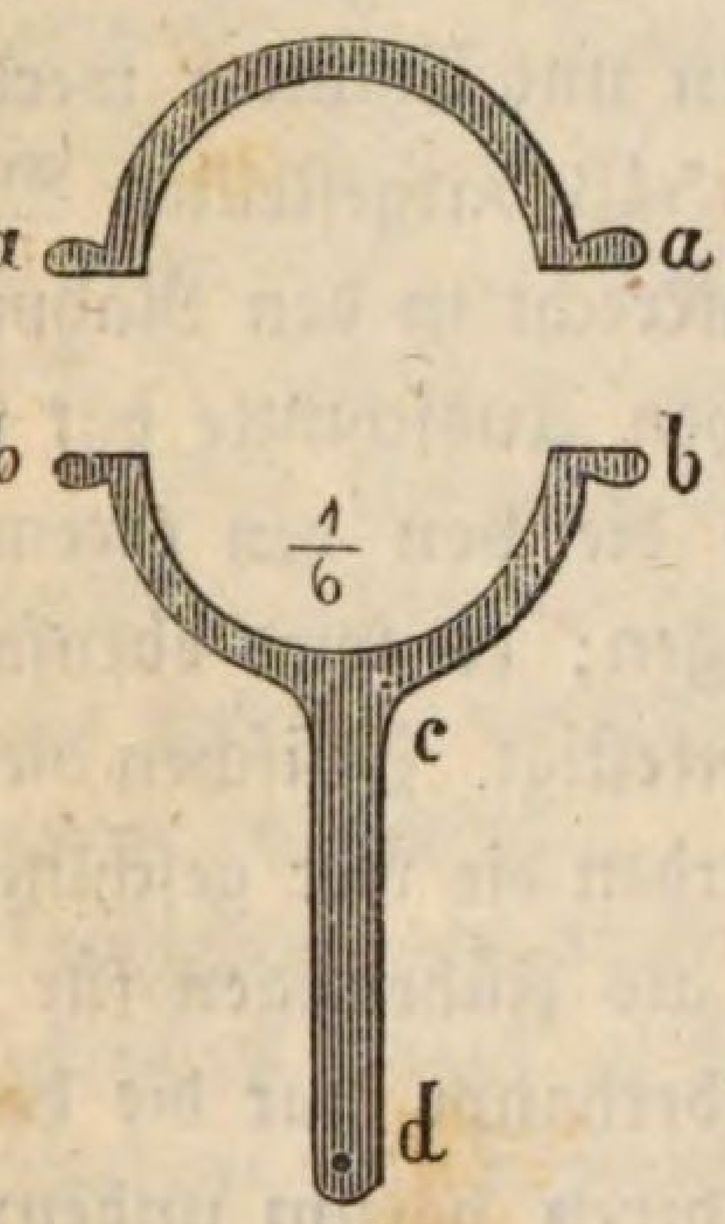
Die Treibaxe wird ganz aus möglichst festem Holze geschnitten, nicht zusammengeleimt, und die Länge der beiden rechtwinklicht zueinander gestellten Kurbeln nach dem im Cylinder gegebenen Kolbenhube bestimmt. Als Kolben dient eine dünne hölzerne Scheibe. Die excentrischen Scheiben werden aus Holz gemacht und müssen darum etwas größer, als das richtige Verhältniß erfordern würde, genommen werden, da der Rand nirgends zu schwach werden darf; auf ihrem Umfange erhalten sie keine Rippe, sondern Rinnen, um in diesen die einfach aus Draht gemachten Ringe laufen zu lassen. Man richtet die Oeffnung für die Axe so, daß die Holzfasern senkrecht zu der Linie durch die Mittelpunkte laufen, spaltet die Scheiben nach der Linie *a b*, Fig. 549, und leimt sie auf die Axe, so daß die Verlängerung der Schieberstange zwischen beiden dicht aneinander liegenden Scheiben durchgeht. Die Excentricität beider kommt in eine gerade, zur Kurbelaxe senkrechte Stellung, da man hier von der Voreilung ganz Umgang nehmen kann.

Fig. 549.



Die Ringe *a a*, *b b*, Fig. 550, um die excentrischen Scheiben macht man von breit geschlagenem Draht, und einen etwas stärkeren breit geschlagenen Draht *c d* löthet man an je einen eines jeden Paares; die Lappen *a a*, *b b* werden, wo sie an den Ring stoßen, etwas eingefeilt, um die beiden Ringstücke mittelst Binddraht um die Scheiben zusammenbinden zu können. Beide Stangen müssen um den halben Abstand der Rinnen in den excentrischen Scheiben gegeneinander gekröpft werden, damit ihre Enden *d* in dieselbe vertikale Ebene zu liegen kommen.

Fig. 550.



Die Hängetaschen fertigt man aus zwei Blechen, wie Fig. 551, die man an zwei Messingstücke, wie Fig. 552, nietet, in welchen letzteren die Stangen der excentrischen Scheiben an Nägeln laufen, da die vollkommene Nachahmung der gewöhnlichen Construction für so kleine Dimensionen größere Arbeit veranlaßt und für den Zweck hier überflüssig ist. Einerseits wird ein Querstück aufgenietet, welches einen mit einer Schraube endenden Stift trägt, an welchen durch ein Zwischenstück der Arm *x*, Fig. 546, der drehbaren Stange *z* eingreift, wodurch die Hängetasche mittelst des Hebels *v* und der Stange *w* gehoben und gesenkt werden kann.

Fig. 551.



Fig. 552.

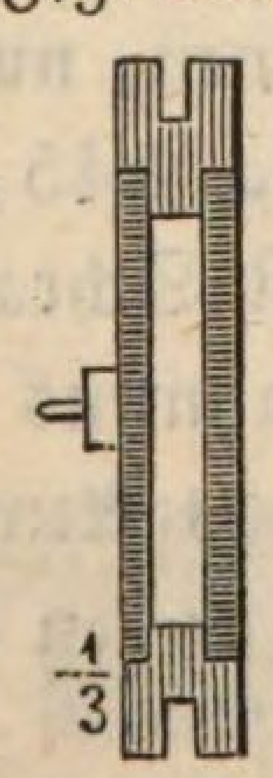
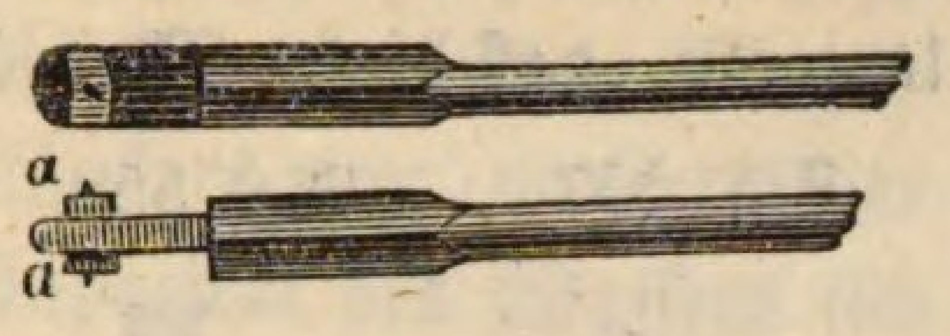


Fig. 553.



In die Hängetasche wird die Schieberstange, Fig. 553, gesteckt, an welcher die zwei Ansätze *a a* um einen Nagel drehbar sind. Letztere müssen in dem Schlitze der Hängetasche leicht, aber sicher auf- und niedergehen, also eingesmirgelt werden. Soweit die Schieberstange in der Führung *n*, Fig. 546, läuft, ist sie viereckig. Der Schieber selbst besteht aus einem Messingstreifen, wie zu Fig. 543 bereits erklärt ist; die Feder bleibt hier weg. Fig. 554 und 555 zeigen diese Theile nebst den Schiebern *k* und den

Fig. 554.

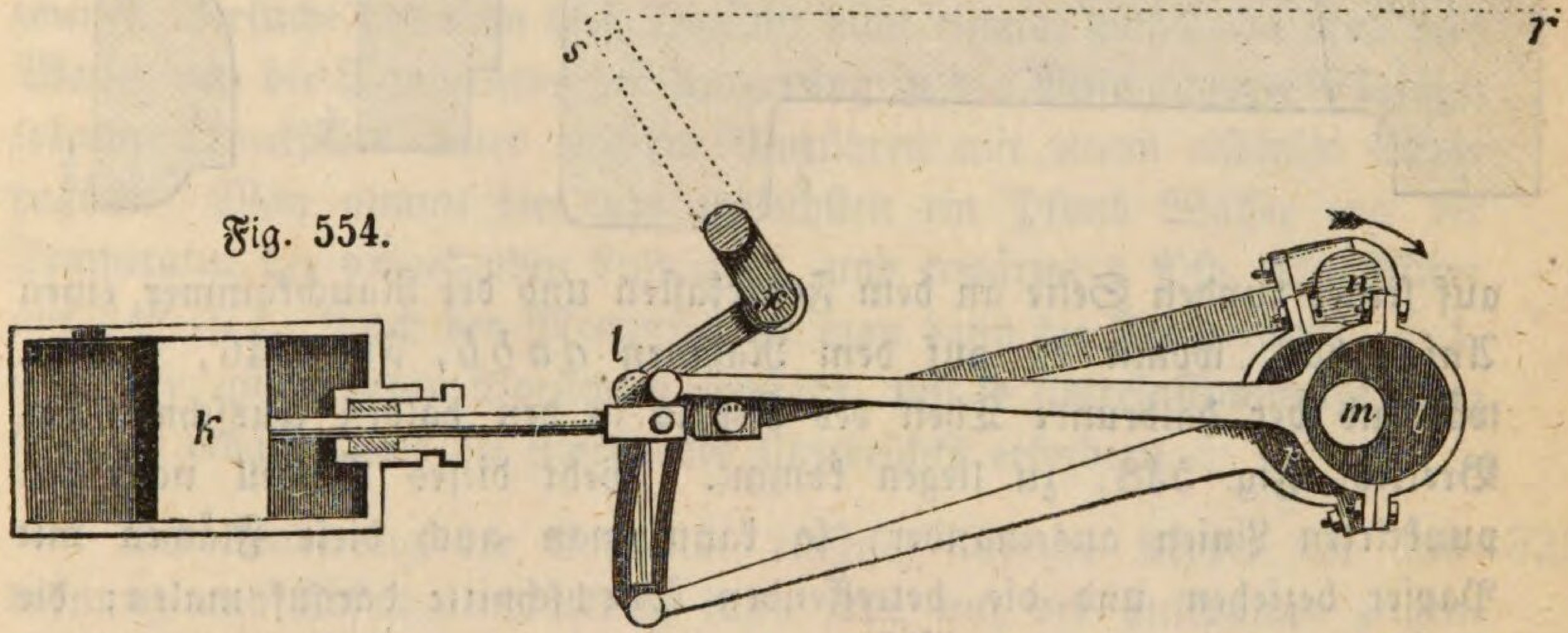
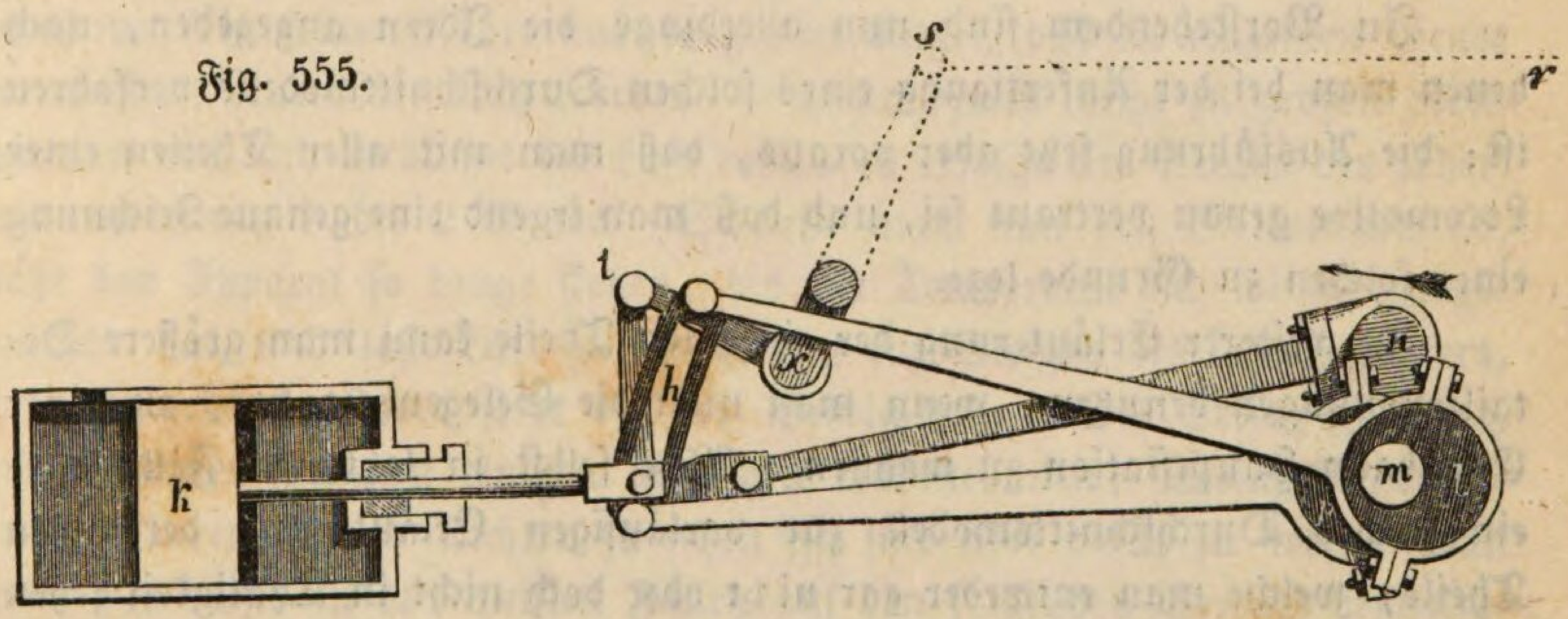


Fig. 555.



Kurbeln *n* in ihrer Zusammenfügung in zwei Stellungen, aber mit etwas geänderter Form der Hängetaschen.

Kolbenstange und Gelenkstange werden, wie in §. 321 erklärt ist, gefertigt; nur fällt hier das Führungsstück der Kolbenstange kürzer aus, da die Schienen *k k* hier viel näher zusammenkommeu, als dort die Schienen *n o*. Die Speisepumpen sind für ein solches Modell überflüssig.

Auf den Rahmen setzt man ein halbrundes hölzernes Modell des Kessels sammt Feuerbüchse, Rauchkammer, Kamin und Dampfdom, auf welches ein Längendurchschnitt der inneren Einrichtung dieser Theile gezeichnet und gemalt wird. Fig. 556 (a. f. S.) zeigt die Fläche, welche bemalt wird,

und die Fig. 557 und 558 sind Durchschnitte dieses Stückes nach den in Fig. 556 angedeuteten Linien. Man ersieht aus letzteren, daß dieses Modell

Fig. 556.

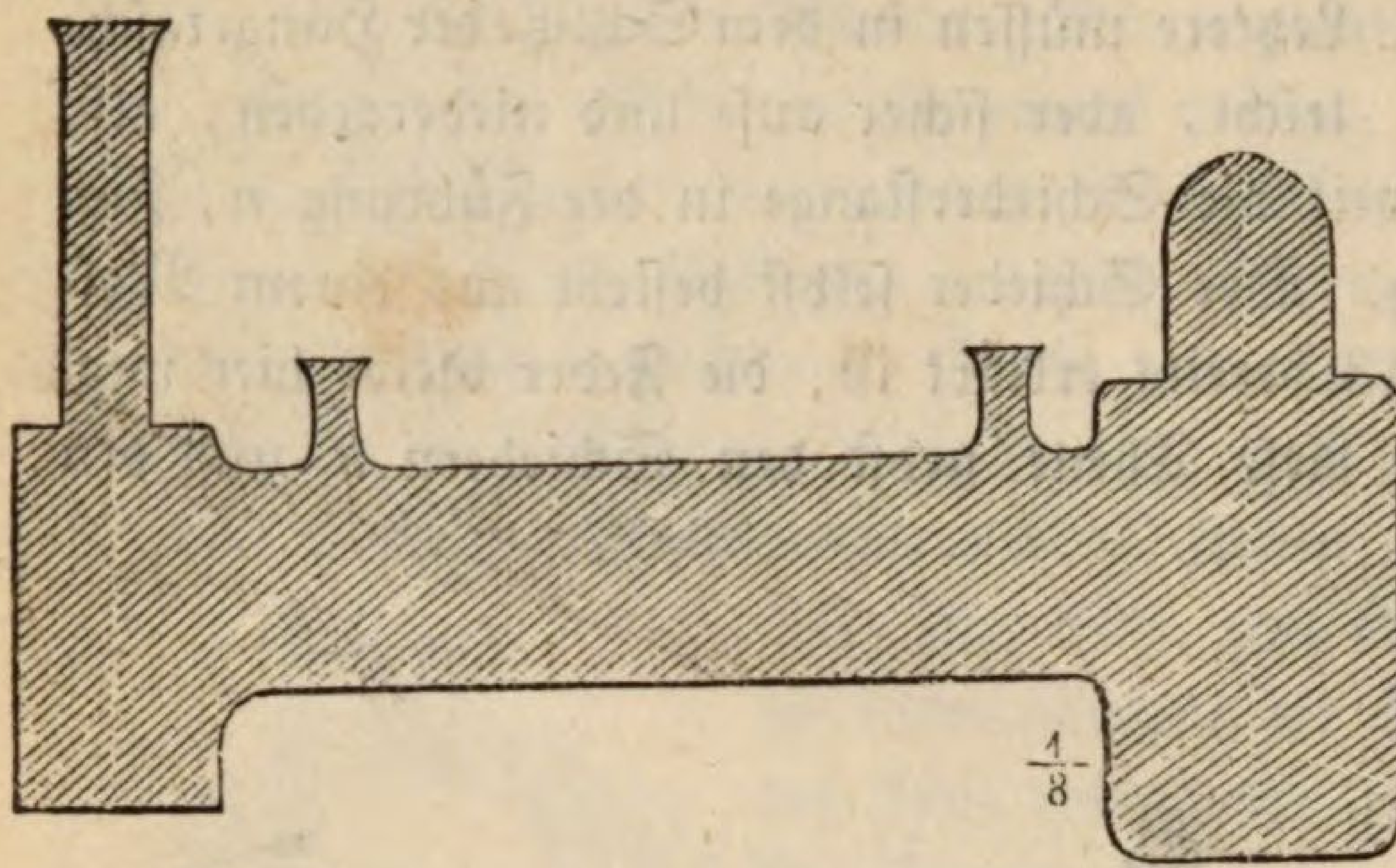


Fig. 557.

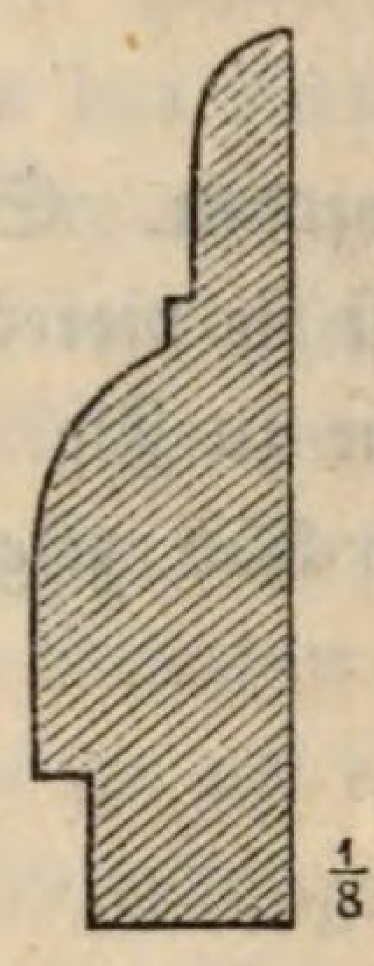


Fig. 558.



auf seiner runden Seite an dem Feuerkasten und der Rauchkammer einen Ansatz hat, womit es auf dem Rahmen *aabb*, Fig. 546, aufsitzt, während der halbrunde Theil des Kessels in den halben Ausschnitt des Brettes, Fig. 548, zu liegen kommt. Geht dieses Modell nach den punktirten Linien auseinander, so kann man auch diese Flächen mit Papier beziehen und die betreffenden Durchschnitte darauf malen; die Stücke werden dann durch hölzerne Zapfen zusammengesteckt.

In Vorstehendem sind nun allerdings die Ideen angegeben, nach denen man bei der Anfertigung eines solchen Durchschnittmodells verfahren ist; die Ausführung setzt aber voraus, daß man mit allen Theilen einer Locomotive genau vertraut sei, und daß man irgend eine genaue Zeichnung einer solchen zu Grunde lege.

Zu weiterer Erläuterung der einzelnen Theile kann man größere Detailzeichnungen benutzen, wenn man nicht die Gelegenheit hat, an einer Eisenbahn-Hauptstation zu wohnen. Aber selbst in letzterem Falle wird ein solches Durchschnittsmodell zur vorläufigen Erläuterung derjenigen Theile, welche man entweder gar nicht oder doch nicht in Thätigkeit sehen kann, von ausgezeichnetem Vortheile sein.

Für die etwaige Anschaffung eines arbeitenden Modells der Locomotive gilt, was oben für die Dampfmaschine überhaupt gesagt wurde, nur ist dasselbe jedenfalls noch viel unnöthiger.

E. Versuche über die specifische Wärme.

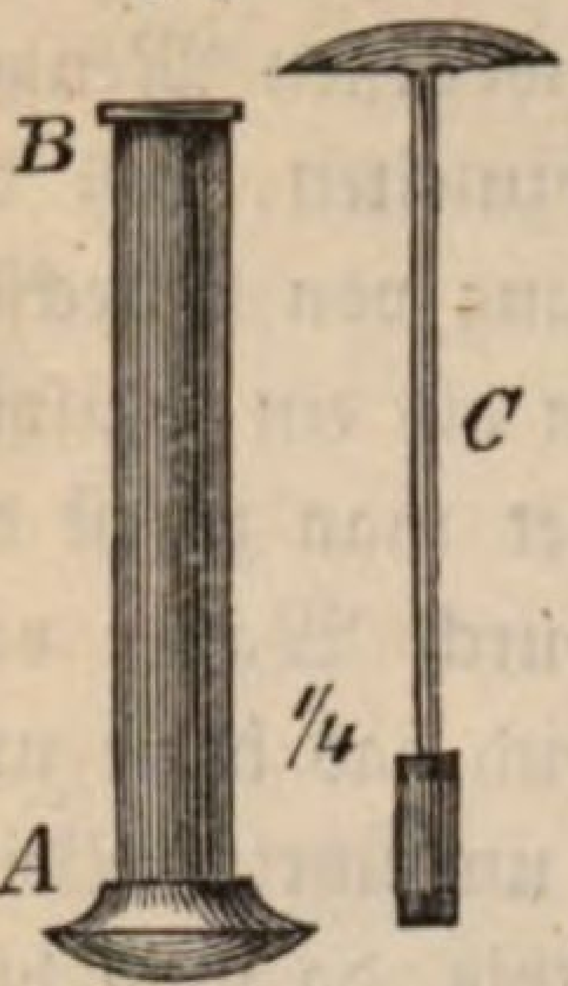
324 Unter den verschiedenen Methoden, die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, eignet sich für den Unterricht eigentlich nur die Mischungs-

methode; die zweckmäßigsten Versuche selbst sind 1) die Bestätigung der Richmann'schen Regel durch Mischung von zwei gewogenen Mengen Wassers von verschiedener Temperatur, um daraus abzuleiten, daß die Capacität des Wassers sich gleich bleibe, und 2) Mischung von Quecksilber und Wasser, um die geringe Capacität des letzteren als ein Beispiel für viele darzuthun. Bei dem ersten Versuche berechnet man zuerst die Temperatur der Mischung und erwärmt das Gefäß durch Wasser von der berechneten Temperatur, gießt dieses aus und sogleich das heiße und kalte Wasser hinein, das man mit dem Thermometer umrührt. Beim zweiten Versuche hat man diese Vorsicht nicht einmal nöthig, da man hier Wasser von der Temperatur der Umgebung in das Mischungsgefäß bringt, sodann Quecksilber unter raschem Umrühren mit einem eisernen Stabe zugießt. Man nimmt hier am einfachsten ein Pfund Wasser von der Temperatur der umgebenden Luft $= t$, und erwärmt 1 Pfd. Quecksilber auf $34^0 + t$. Nach der Mengung hat man dann die Temperatur $t + 1$. Die hier angegebenen Vorsichten genügen, um so übereinstimmende Versuche zu erhalten, als die Zwecke des Unterrichts erfordern.

Die Aenderung der Capacität elastisch-flüssiger Körper bei Ausdehnung und Zusammendrückung kann man mit der Luftpumpe zeigen. 325
Man hängt zu dem Ende ein empfindliches Thermometer — also ein solches mit sehr feiner Röhre und so großer Kugel, daß die einzelnen Grade mindestens eine Linie lang werden — unter einem nicht zu großen Recipienten auf und verdünnt die Luft rasch; es erfolgt ein Sinken des Thermometers um 1 bis 2 Grade. Schließt man nun den Recipienten ab, läßt den Apparat so lange stehen, bis die Temperatur sich wieder ausgeglichen hat, und läßt Luft zu, so erfolgt ein Steigen des Thermometers, das Umgekehrte findet statt bei der Verdichtung. Der Erfolg ist sicher, allein immer nur von einigen Wenigen wahrnehmbar; Weingeistthermometer, deren Stand leichter zu sehen ist, sind aber dafür zu träge; man wird sich daher in den meisten Fällen auf den folgenden Versuch beschränken müssen.

Daß die Wärmecapacität der Körper sich bei Volumsverminderung 326
ändere, kann man für gasförmige Körper auch an dem sogenannten **pneumatischen Feuerzeuge** zeigen; dasselbe besteht aus einem metallenen Cylinder *AB*, F. 559 (s. f. S.), der unten eine abgerundete breite Basis hat, mit welcher man ihn auf die hohle Hand stellt, während der Cylinder selbst zwischen Zeige- und Mittelfinger gehalten wird. In diesem Cylinder paßt genau luftdicht ein unten etwas ausgehöhlter Stempel *c*, Fig. 560 (s. f. S.), dessen Stiel sich wie der Cylinder breit endigt. In der unteren Höhlung des Stempels ist gewöhnlich eine etwas umgebogene Spitze, an

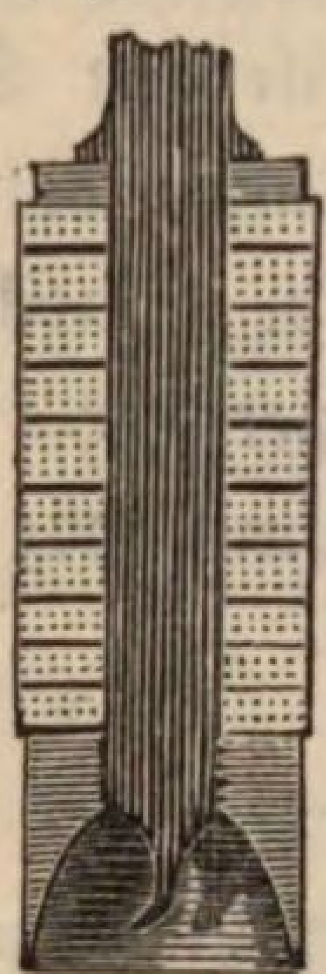
Fig. 559.



welche man ein Stückchen Schwamm steckt. Schlägt man nun den vorläufig in den Cylinder gesteckten Stempel mit der andern Hand kräftig in den Cylinder hinein, und zieht ihn rasch wieder heraus, so brennt der Schwamm.

F. Versuche über die Fortpflanzung der Wärme.

Fig. 560.



327 Daß die Wärme strahlend von erhitzten Körpern ausgehe, zeigt man am einfachsten durch folgenden Versuch. Man schneidet in ein bogengroßes Stück Pappe eine runde Oeffnung, die etwas größer ist, als die geschwärzte Kugel des Differenzialthermometers oder die Oeffnung des Trichters am Thermomultiplicator. Diese Pappe stellt man aufrecht auf den Tisch, hinter sie und durch sie ganz gedeckt das Thermoskop und in gleicher Höhe mit der Oeffnung in 1 bis 2 Fuß Entfernung ein beinahe glühendes Stück Eisen, von ½ — 1 Pfd., auf irgend einem Gestelle, z. B. auf einem kleinen Ring des Retortengestelles. Das Thermoskop zeigt keine Einwirkung des Eisens, bis man dasselbe vor die Oeffnung in der Pappe schiebt und es also in gerader Linie dem heißen Eisen gegenübersteht. Das Thermoskop darf nicht über einen Fuß von der Pappe entfernt stehen, wenn man eine auch noch auffallende Wirkung erhalten will.

328 Zu den übrigen Versuchen über strahlende Wärme, so weit dieselben hierher gehören, bedarf man vor allem eines Paares von sogenannten Wärmespiegeln, d. h. von ziemlich breiten (14 — 20 Zoll) sphärischen oder parabolischen Metallspiegeln, deren Politur übrigens keine vorzügliche zu sein braucht. Sphärische Spiegel dürften wohl im Allgemeinen vorzuziehen sein, da sie eine viel regelmäßigere Bearbeitung zulassen, als parabolische; letztere nämlich können ihrer ungleichen Krümmung wegen nicht gut geschliffen werden, während sphärische Spiegel ohne Anstand so regelmäßig gemacht werden können, daß man sie selbst zur Erläuterung ihrer optischen Eigenschaften, namentlich zur Darstellung des Luftbildes, sehr wohl brauchen kann. Man kann sich dieselben etwa auf folgende Weise verschaffen.

Man verfertigt aus Eisenblech eine Schablone mit einem Halbmesser von etwa 1½ bis höchstens 2 Fuß, deren Sehne 14 — 20 Zolle mißt, und läßt nach dieser vom Kupferschmied oder vom Klempner die Spiegel aus starkem gelben Messingblech — Trommelblech — treiben und läßt ih-

nen zur Verstärkung einen aufgebogenen Rand geben. Ein guter Arbeiter wird den Spiegeln eine sehr nahe richtige Fläche geben, auf der nur geringere Ungleichheiten vorkommen. Die so erhaltenen Schalen legt man nun am bequemsten in einen mit Sägespähnen gefüllten Kübel von passender Größe und schleift sie mit einem großen Stück Bimsstein und Wasser so lange, bis alle Stellen gleichförmig angegriffen sind; man führt dabei den Bimsstein in epicycloidischen Richtungen herum; derselbe gleicht sich sehr bald in die Kugelform ab. Zeigen sich nach einigem Schleifen noch zu große Ungleichheiten, so kann hier noch mit dem Hammer nachgeholfen werden. Das ziemlich langweilige Schleifen kann übrigens jede beliebige Person unter Aufsicht besorgen.

Hat der Bimsstein überall gleichförmig angegriffen, so schneidet man die Hirnseite einer dicken Holzkohle ungefähr in die Form des Spiegels und schleift mit dieser unter Anwendung von Oel die Bimssteinstriche weg, wobei man zuletzt die Striche vom Rande gegen den Mittelpunkt des Spiegels führt. Die Politur läßt man am kürzesten durch den Klempner machen, welcher mittelst sogenanntem Wienerkalke sehr gut damit fertig wird.

Fig. 562.

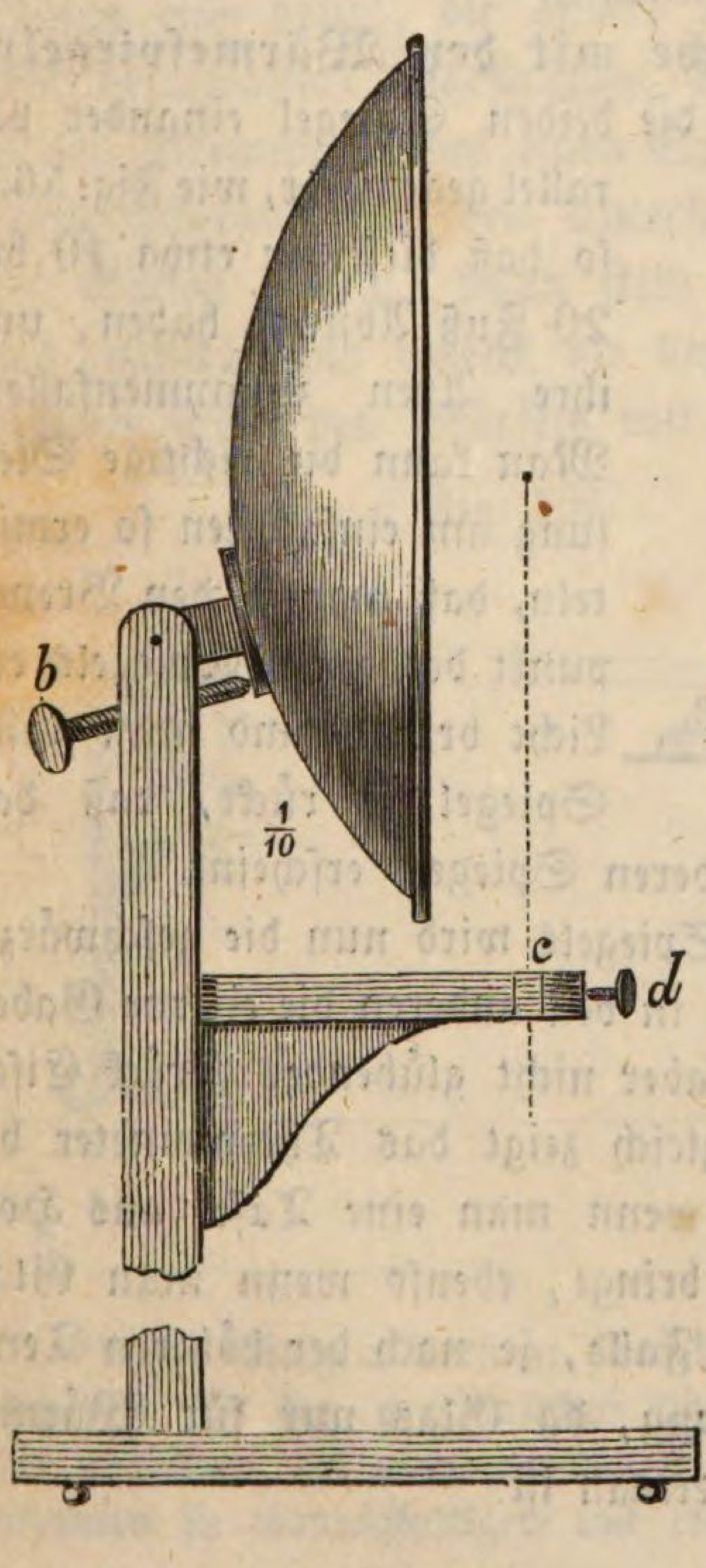
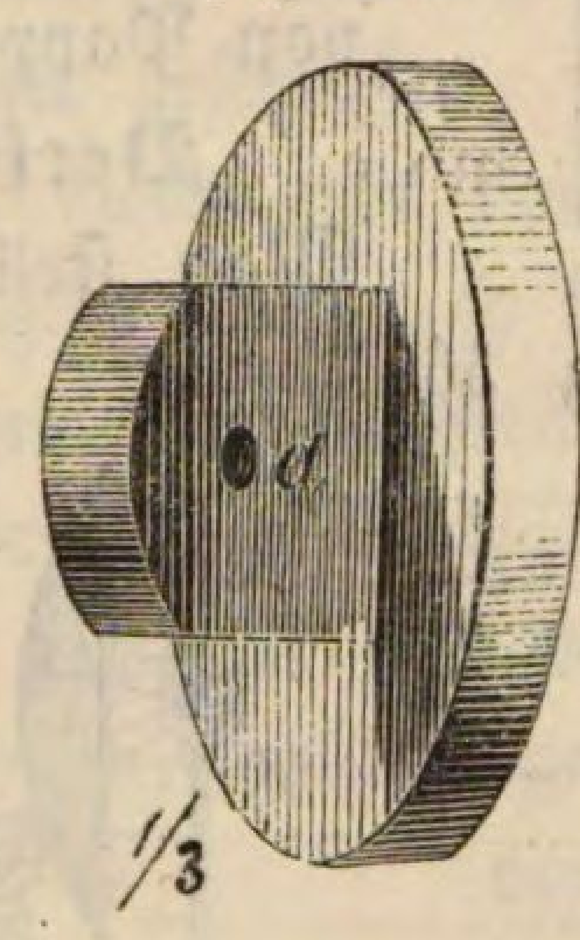


Fig. 561.



Die fertigen Spiegel werden dann durch zwei Schrauben, für die man die Löcher schon vor dem letzten Schleifen gebohrt und versenkt hat, an ein stärkeres Messingblech, wie Figur 561, befestigt, an dem das Gelenkstück *a* angelöthet ist, oder man läßt diesen Theil aus einem Stücke gießen. Die Befestigung geschieht unter der Mitte des Spiegels und das Gelenkstück wird mittelst eines etwa 2 Linien dicken eisernen Stiftes in das Ende eines vierkantigen Stabes von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Seite befestigt, durch welchen eine hölzerne Schraube *b*, Figur 562, geht, mittelst der die vertikale Stellung des Spiegels regulirt werden kann. Der Stab muß etwa 3 Fuß Höhe haben und in ein dreieckiges oder

quadratisches Fußbrett von etwa 1 Fuß Seite befestigt werden, damit man die Spiegel unmittelbar auf den Boden stellen könne, und nicht noch ein Stativ nöthig habe. Weitere Stellschrauben sind dabei nicht nöthig, da die horizontale Drehung der Spiegel durch Drehung der Gestelle leichter bewerkstelligt wird. Bequem ist es, wenn der vertikale Stab unterhalb des Spiegels einen horizontalen Arm hat, der so lang ist, daß die gegen das Ende desselben durchgebohrte Oeffnung *c* vertikal unter dem Brennpunkte des Spiegels sich befindet, um hier mittelst der Druckschraube *d* entweder ein kleines Tischchen, Fig. 563, oder eine eiserne Gabel, Fig. 564, oder einen gespitzten Draht einschrauben zu können; das Tischchen muß dabei so breit sein, daß man das Differenzialthermometer, Fig. 522, so darauf stellen kann, daß die eine seiner Kugeln in den Brennpunkt der Spiegel kommt. Man kann übrigens für diese Dinge auch besondere Stative benutzen, wie in der folgenden Fig 565.

Fig. 563.

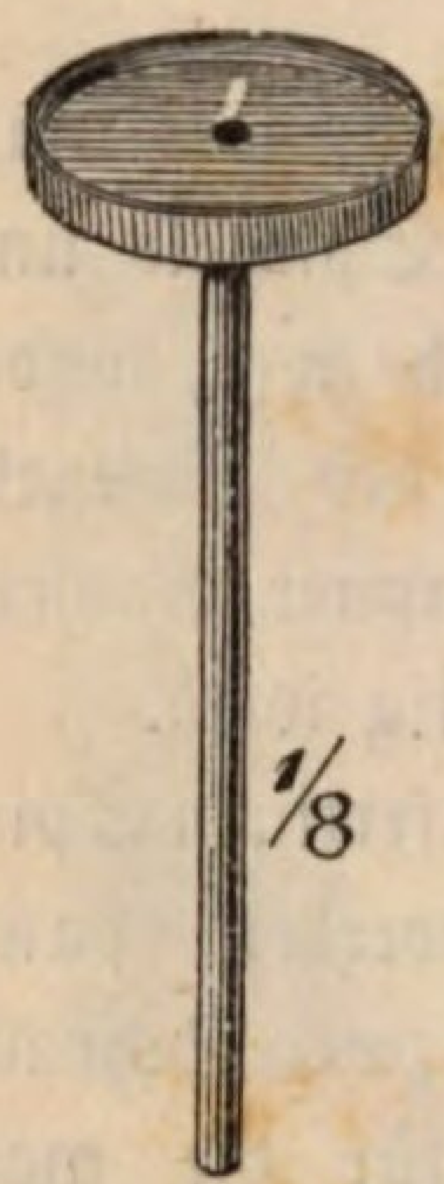
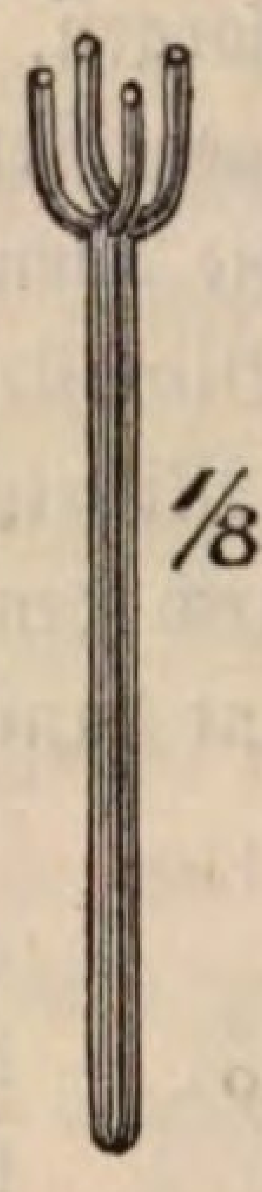


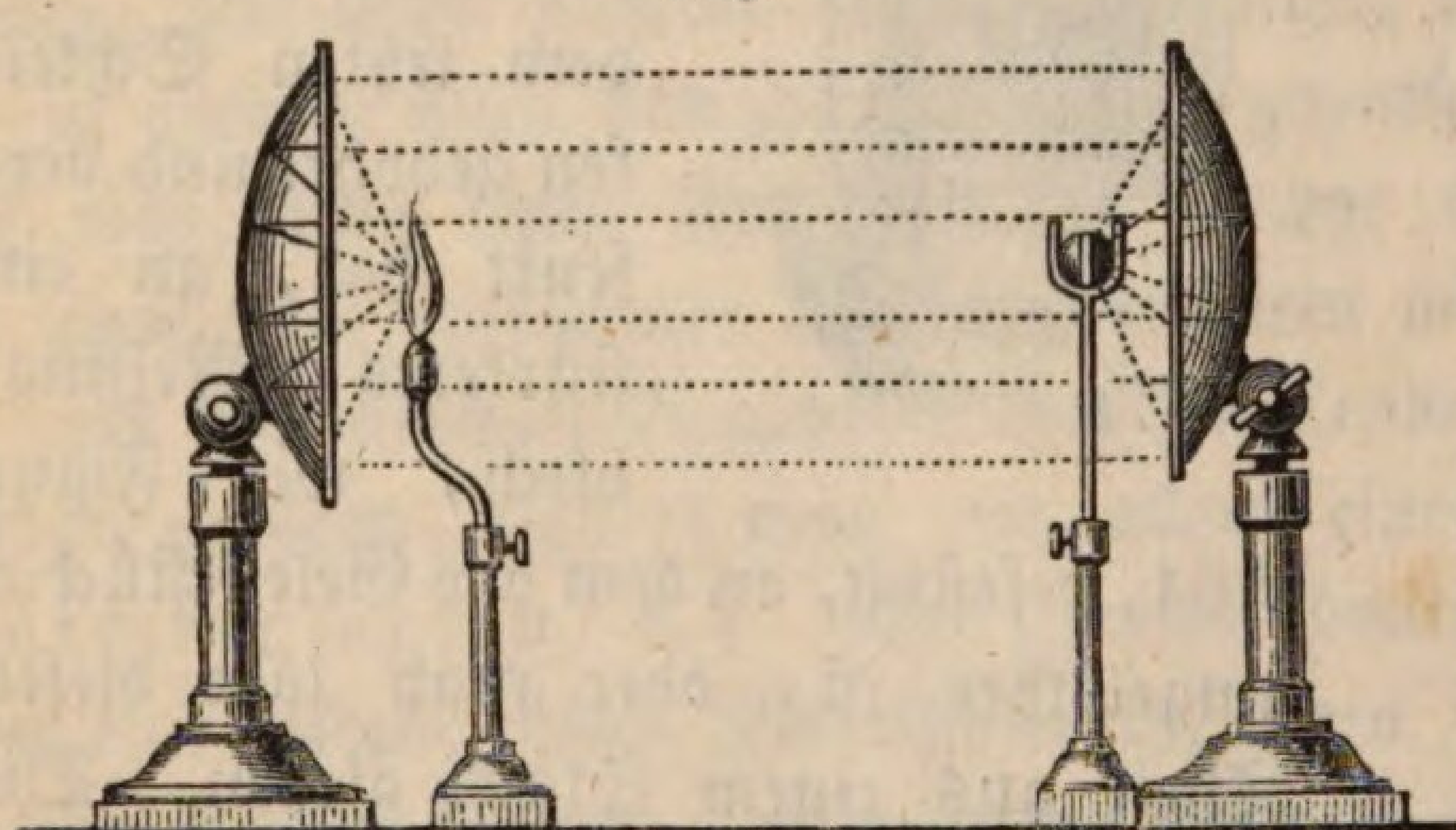
Fig. 564.



Um die Spiegel gut zu verwahren, läßt man für jeden einen darauf passenden Deckel von Pappe machen.

329 **Versuche mit den Wärmespiegeln.** Man stellt die beiden Spiegel einander parallel gegenüber, wie Fig. 565, so daß dieselben etwa 10 bis 20 Fuß Abstand haben, und ihre Axen zusammenfallen. Man kann die richtige Stellung am einfachsten so ermitteln, daß man in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Licht bringt und nun beide Spiegel so rückt, daß das Bild des Lichtes im Brennpunkt des anderen Spiegels erscheint.

Fig. 565.



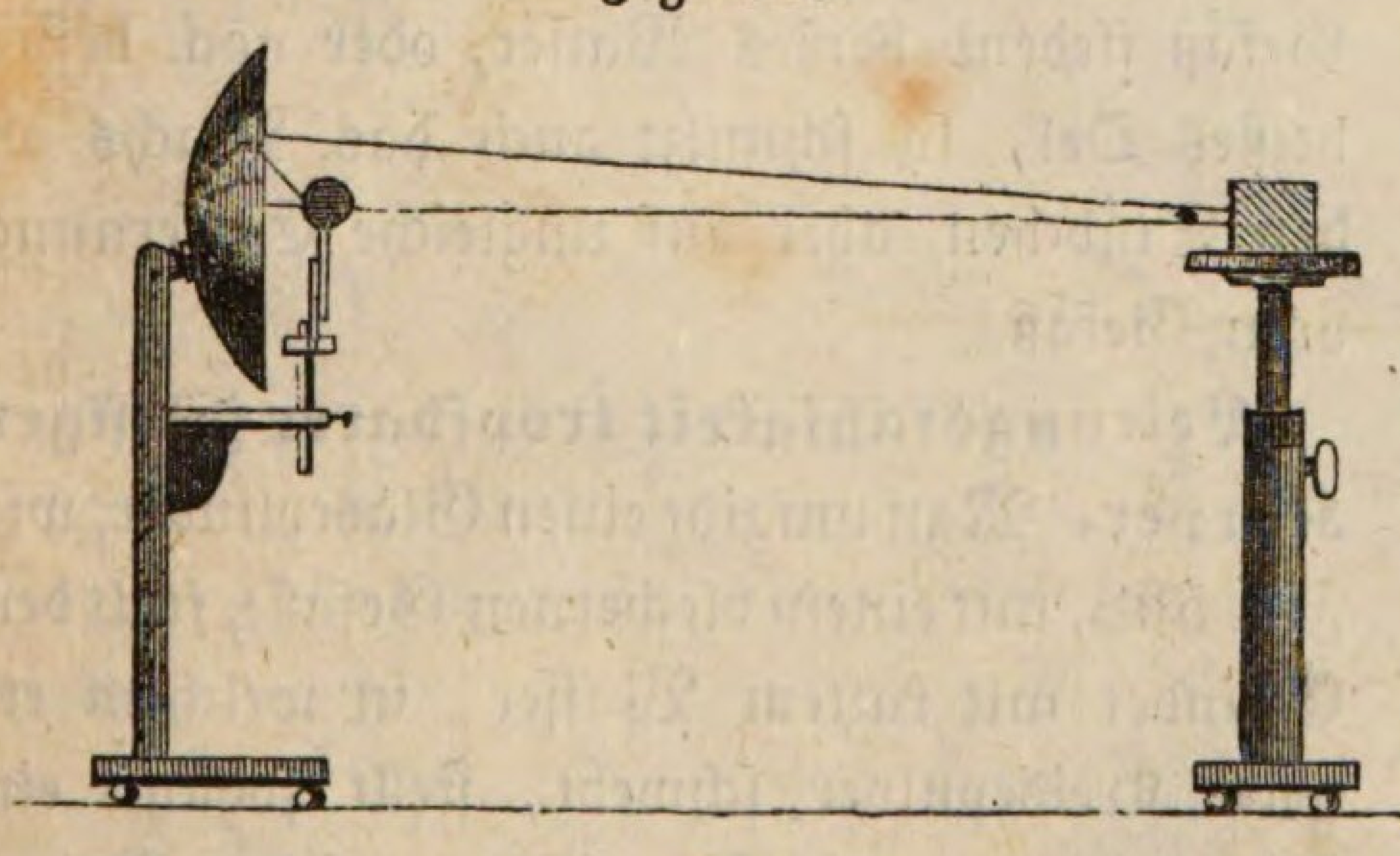
a) In den Brennpunkt des einen Spiegels wird nun die geschwärzte Kugel des Differenzialthermometers, und in den anderen die eiserne Gabel, Fig. 564, und in diese ein sehr heißes, aber nicht glühendes Stück Eisen von etwa 1 — 2 Pfund gebracht. Sogleich zeigt das Thermometer bedeutende Erwärmung, welche aufhört, wenn man eine Tafel aus Holz oder Pappe zwischen die beiden Spiegel bringt, ebenso wenn man Glas zwischen sie bringt, doch bleibt in diesem Falle, je nach der höheren Temperatur des Eisens noch einige Erwärmung, da Glas nur für Wärmestrahlen von Körpern unter 100° C. atherman ist.

b) Auf die eiserne Gabel bringt man eine glühende Kohle und in den Brennpunkt des anderen Spiegels an einem gespitzten Drahte ein Stück Zunder und facht die Kohle durch einen Handblasbalg stark an; worauf sich der Zunder sehr bald entzündet; den gleichen Erfolg erhält man, wenn man eine Glastafel zwischen die beiden Spiegel stellt. Im letzteren Falle wird es aber gerathener sein, die Spiegel etwas näher zu rücken, besonders wenn sie nicht recht gut sphärisch sein sollten, weil die Wärme durch das Glas doch etwas geschwächt wird und die Wärmestrahlen von jedem solchen Spiegel nicht ganz parallel zurückgeworfen werden, sondern divergiren, wo dann das durch das Glas noch geschwächte Strahlenbündel, das den zweiten Spiegel trifft, nicht immer zur Entzündung des Schwammes ausreicht. Um die Kohle bei diesem Versuche bequemer anfachen zu können, pflegt man den einen Spiegel in seiner Mitte etwa 1 Centimeter weit zu durchbohren, was aber nicht nothwendig ist.

c) In die eiserne Gabel des einen Spiegels legt man ein Stück Eis, worauf das Thermometer im anderen Brennpunkte sinkt *).

d) Wenn man einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel aus Messingblech, der etwa 1 Decimeter Seite hat, und von dessen vier Seiten eine polirt, die andere matt geschliffen, die dritte mit Bleiweiß (und Leimwasser) angestrichen, die vierte mit Lampenruß geschwärzt ist, in den Brennpunkt des einen Spiegels bringt, so kann man an dem Differenzialthermometer den Unterschied des Ausstrahlungsvermögens dieser vier Seiten zeigen. Man stellt dabei die Spiegel nur einige Fuß weit von einander und bedeckt die dem Spiegel mit dem Thermometer zugewendete Seite des Würfels mit einem darüber gehängten Blatte Papier von gleicher Größe, um deren Ausstrahlung gegen den zweiten Spiegel zu hindern. Letzterer Versuch kann auch mit einem Spiegel angestellt werden, wie Fig. 566 zeigt, wenn man vorher mittelst einer Lichtflamme den Ort des Bildes sucht, welcher der gewählten Stellung des

Fig. 566.



*) Die übrigen Versuche über die Gesetze der strahlenden Wärme werden sich schwerlich für den gewöhnlichen Unterricht eignen, einerseits weil dieselben mehr Zeit erfordern, als man gewöhnlich diesem Gegenstande widmen kann, andererseits erfordern sie mannigfaltigere und complicirtere Apparate.

Würfels zukommt; letzterer darf aber dabei nicht sehr weit vom Spiegel entfernt werden; es ist jedoch zweckmäßiger beide Spiegel anzuwenden.

Obwohl die Wirkung am gewöhnlichen Differenzialthermometer sehr merklich ist, so eignet sich zu diesen Versuchen doch ein Thermomultiplicator (§. 284) viel besser. Denn wenn man auch das Differenzialthermometer, um es empfindlicher zu machen, mit Weingeist füllt und luftleer macht, so wird doch immer auch die andere Kugel von Wärmestrahlen getroffen, wenn diese auch nicht concentrirt sind, und das Instrument bedeckt zum Theil den Spiegel, was einen Hauptübelstand bildet. Außerdem dauert es viel länger bis das Differenzialthermometer seinen Stand nicht mehr verändert, als bis die Nadel des Multiplicators zur Ruhe kommt. Letzteres braucht nicht einmal abgewartet zu werden, da man aus den bereits klein gewordenen Schwingungen der Nadel sehr leicht ihre endliche Abweichung erkennen kann; um so mehr, als der Unterschied der Wirkung bei den einzelnen Seiten des Würfels ziemlich groß ist.

330 **Leitung der Wärme bei festen Körpern.** An ein Gefäß von Messingblech, welches in Fig. 567 in etwa $1/_{10}$ der natürlichen Größe abgebildet ist, werden 4 — 6 gleiche 2 — 3 Linien lange Röhrchen gelöthet, in welche man gleich dicke und gleich lange Stäbchen aus verschiedenen Substanzen, wie Messing, Eisen, Blei, Glas, Holz, durch Reibung feststeckt. Taucht man nun diese Stäbchen in geschmolzenes Wachs, so daß sie einen dünnen Ueberzug davon erhalten, und gießt in das Gefäß siedend heißes Wasser, oder noch besser heißes Oel, so schmilzt auch das Wachs an den Stäbchen, aber auf ungleiche Entfernung vom Gefäß.

Fig. 567.

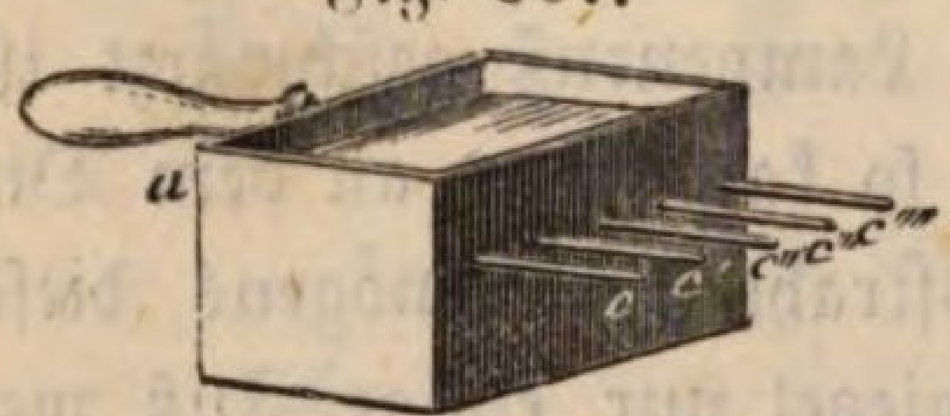
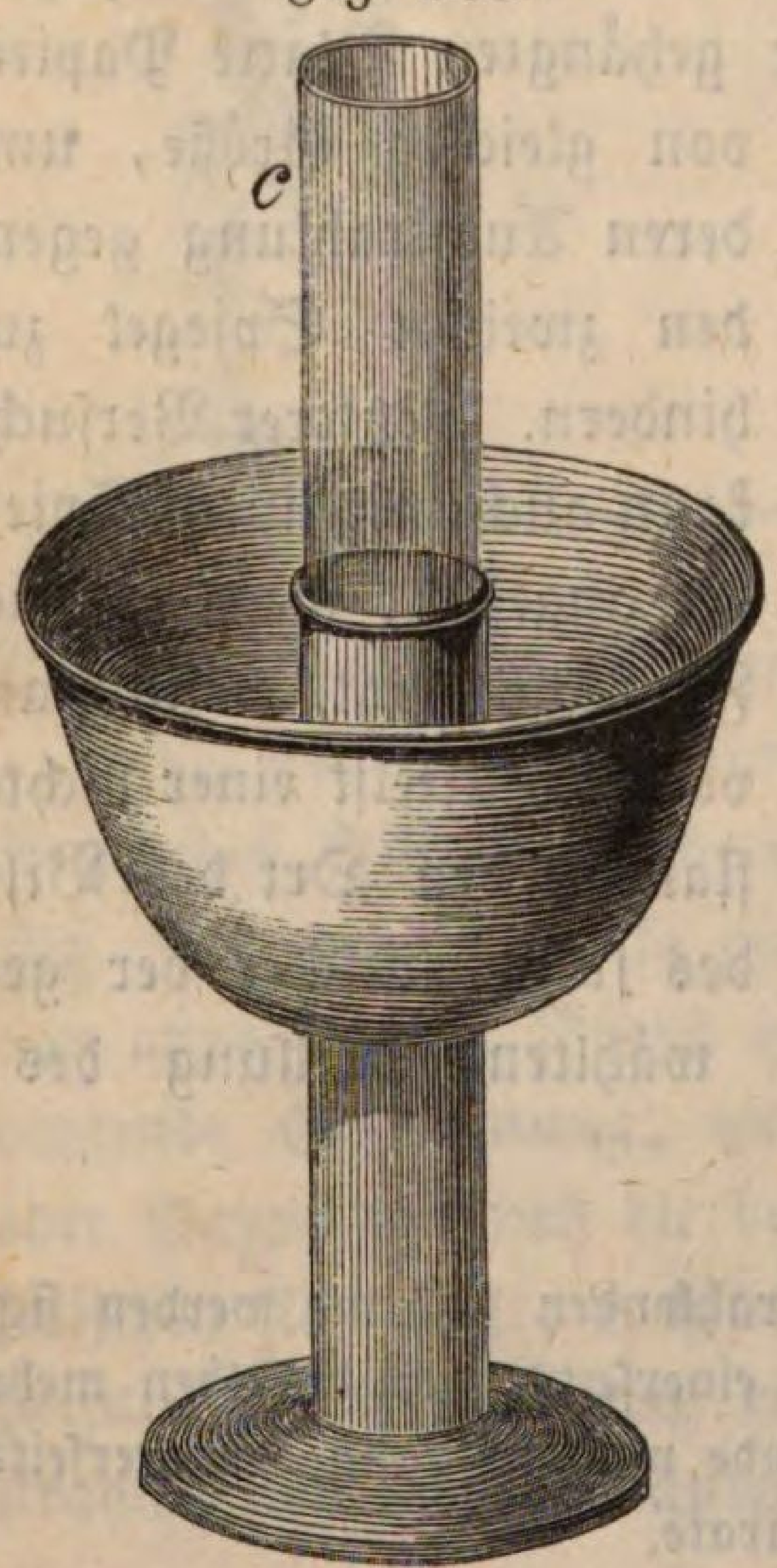


Fig. 568.



331 **Leitungsfähigkeit tropfbarer flüssiger Körper.** Man umgibt einen Glascylinder, wie Fig. 568, mit einem blechernen Gefäße, füllt den Cylinder mit kaltem Wasser, in welchem etwas Kreidepulver schwebt, stellt sodann ein Thermometer, wie Fig. 520, auf den Boden des Glascylinders und hängt ein zweites oben in das Wasser; nach dieser Vorbereitung füllt man heißes Wasser in das blecherne Gefäß. Bei diesem Versuche sieht man die mit dem erwärmten Wasser strömenden Kreidetheilchen

an den Wänden des oberen Theiles des Cylinders aufsteigen, während die kälteren Theile in der Mitte niedersinken. Das obere Thermometer steigt rasch, während das untere seinen Stand unverändert beibehält.

Die schlechte Leitungsfähigkeit tropfbar flüssiger Körper kann man auch ganz einfach dadurch zeigen, daß man in einen Cylinder mit kaltem Wasser ein Thermometer hängt und sodann vorsichtig heißes Oel auf das Wasser gießt, oder ein Schälchen mit Weingeist darauf setzt und diesen anzündet. Auch hier behält das Thermometer sehr lange Zeit seinen Stand unverändert bei. Wenn man Thermometer besitzt, bei welchen die Skale auf die Röhre selbst geätzt ist, so kann man unten in den Cylinder ein Loch bohren und das Thermometer mittelst eines an die Röhre geschobenen Korkes von der Seite in den Glascylinder befestigen.

G. Versuche über die Verbrennung*).

Die Sicherheitslampe. Die Wirkung des Drahtnetzes an derselben erläutert man, indem man in die Flamme einer Weingeistlampe horizontal ein Stückchen Drahttuch hält, wie man dasselbe als Abfall von den Siebmachern bekommen kann. Das Gewebe muß so eng sein, daß etwa 30—40 Fäden auf einen Zoll kommen. Die Flamme wird durch das Gewebe eben abgeschnitten und bildet einen leuchtenden Ring um den noch unverbrannten mittleren Theil des aufsteigenden Gasstromes. Das durch die Oeffnungen des Drahttuches dringende Gas läßt sich oberhalb desselben wohl wieder anzünden, brennt aber nicht fort. Mit einer Sicherheitslampe selbst können beim Unterrichte nicht wohl Versuche angestellt werden; wohl aber kann eine solche dazu dienen, ihre Einrichtung auf den ersten Anblick deutlich zu machen. 332

Farbige Flammen. Rothe Flamme erhält man, wenn man in Weingeist Chlorstrontium (salzsauren Strontian) löst, was man beinahe in jeder Apotheke bekommen kann. Grüne Flamme erhält man durch Lösung von salpetersaurem Kupfer in Weingeist. Das salpetersaure Kupfer erhält man einfach, indem man Kupferabfälle in etwas verdünnter Salpetersäure (spec. Gew. = 1,4) unter Erwärmung löst, und dabei Kupfer im Ueberschuß anwendet; man dampft nachher die Lösung ein und läßt sie krystallisiren. Die Mutterlauge wird weggegossen und die Kry- 333

---

*) Die hier zum Schlusse folgenden Versuche gehören mehr in das Gebiet der Chemie als in jenes der Physik, und sind hier nur deswegen noch aufgenommen, weil ihrer beinahe in jedem Lehrbuche Erwähnung geschieht. Mehr oder weniger gilt dieses auch von früher angeführten Versuchen, da überhaupt in dem Kapitel von der Wärme die genannten beiden Wissenschaften so vielfach in einander greifen, daß an keine strenge Ausscheidung zu denken ist.

stalle werden in starkem Weingeist gelöst. Pomeranzengelbe Flamme erhält man aus Chlorcalcium, das man aus Kreide mit Salzsäure erhält; die Kreide wird auch hier im Ueberschusse genommen und die Lösung zur Trockene abgedampft.

Beim Versuche gießt man etwas von der weingeistigen Lösung in eine kleine Porcellanschale und zündet an. Die Farben werden aber lebhafter, wenn man mit einem brennenden Spahne in der Flüssigkeit rührt, oder sie am Docht brennen läßt. Daß Kochsalz, wenn man es auf den Docht einer Weingeistflamme streut, diese rein gelb färbt, wurde schon bei optischen Versuchen erwähnt.

Wenn man Terpenthinöl in Weingeit löst, so wird die Flamme desselben weiß gefärbt, und zwar um so weißer, je stärker der Weingeist war. Solcher Weingeist wird jetzt häufig zur Beleuchtung verwendet, bald in den sogenannten Glaslampen, bald am Dochte brennend.

334 Zur Erläuterung der Lehre von der Verbrennung des Talges und Wachses 2c. also der Körper, welche vorher erst in brennbare Producte zersetzt werden, kann man folgende Versuche machen:

a) Man zündet einen Wachsstock an und bläst ihn aus, wenn er gehörig brennt; nähert man nun der auf steigenden Säule der noch durch die Hitze des Dochtes erzeugten brennbaren Gase ein Licht, so entzünden sich dieselben, die Flamme fährt schnell an den Docht zurück und die Kerze brennt wieder.

b) Senkt man ein auf einen umgebogenen Draht gestecktes Wachslicht langsam in einen mit Kohlensäure gefüllten Cylinder, so erlischt die Flamme am Docht, aber die aufsteigenden Gase brennen oberhalb der Kohlensäure noch einige Zeit fort und man kann die Wachskerze an diesem Flämmchen wieder anzünden, wenn man sie wieder aus der Kohlensäure hebt.

335 **Baumé's leichter Fluß.** Derselbe besteht aus 3 Theilen gepulvertem Salpeter, 1 Thl. Schwefelblumen und 1 Thl. feiner Sägespähne, am besten buchenen, welche Substanzen gehörig gemengt werden. Wenn man eine Nußschale mit dieser Masse fest anfüllt, eine kleine Silbermünze oder auch ein Stückchen von dünnem Messingblech darauf legt und noch etwas von der Masse oben darauf drückt, so schmilzt das Metall während der heftigen Verbrennung. Man kann das Gemenge vorräthig aufbewahren, nur muß man dasselbe jedesmal vor dem Gebrauch frisch mengen, da sich die Substanzen gern von einander sondern, wenn die dieselben enthaltende Schachtel gerüttelt wird. Das Anzünden geschieht mittelst eines Spähnchens.

Rascher entzündet sich die Masse, wenn man sie mit Schießpulver bestreut, und dieses anzündet.

Verzeichniß physikalischer Apparate,

soweit sie zu einem ausgedehntern Schulunterrichte erforderlich sind *).

A. Zur Lehre vom Gleichgewichte und der Bewegung.

1) Eine Anzahl Gewichte mit Haken, von beliebiger Einheit. §. 12.
2) Einige Büchschen von Blech für Kupfermünzen. §. 12.
3) Einige kleine Wagschalen. §. 12.
4) Vorrichtung für das Parallelogramm der Kräfte. §. 13.
5) Vorrichtung zur Erläuterung der Kniepresse. §. 14.
6) Modell für zusammengesetzte Bewegung. §. 15.
7) Schiefe Ebene. §. 16 u. 17.
8) Vorrichtung zur Erläuterung der Schraube. §. 18.
9) Archimedische Schraube, der Cylinder von Glas. §. 18.
10) Vorrichtung zur Erläuterung des Keils. §. 19.
11) Verschiedene Rollen und Rollenzüge. §. 20.
12) Hebelapparat. §. 25.
13) Räder an der Welle. §. 27.
14) Wagenwinde. §. 27.
15) Feine hydrostatische Wage. §. 28.
16) Ordinäre Wage. §. 30.
17) Schnellwage. §. 32.
18) Brückenwage. §. 33.
19) Federwage.
20) Eiserne landesübliche Gewichte.
21) Messingene kleine Gewichte zu den vorigen.
22) Grammgewicht.
23) Nürnberger Apothekergewicht.
24) Vorrichtung zur Erläuterung der Standfestigkeit. §. 34.
25) Auf der Spitze balancirende Figur. §. 35.
26) Kegel, der bergan läuft. §. 36.
27) Chinesischer Purzelmann. §. 37.
28) Marmorplatte und Elfenbeinkugel. §. 38.

---

*) Preise wurden hier deswegen keine beigesetzt, weil dieselben je nach der Größe und äußern Ausstattung der Apparate sehr wechseln. Darum ist in der Regel mit den sogenannten Preisverzeichnissen der Mechaniker auch nur ein ohngefährer Anhaltspunkt gegeben; darum ist es bei allen größern Apparaten zweckmäßig, sich vorher durch Zeichnungen u. dgl. mit dem Verfertiger über die Construction und den Preis zu verständigen.

29) Glastrompete. §. 39.
30) Spiralig geschnittenes Glas. §. 39.
31) Bologneser Flaschen. §. 39.
32) Glasthränen. §. 39.
33) Ein Büschel feiner Glasfäden. §. 39.
34) Vorrichtung, um den absoluten Widerstand von Holz und Metall zu zeigen. §. 42.
35) Cohäsionsplatten aus Glas und Metall. §. 43.
36) Vorrichtung, um Cohäsionsplatten im leeren Raume gebrauchen zu können. §. 43.
37) Adhäsionsplatten von Glas und Messing für die Adhäsion von Wasser und Quecksilber. §. 43.
38) Vorrichtung, die gleichförmige Fortpflanzung der Druckes bei tropfbarflüssigen Körpern durch Gewichte zu zeigen. §. 44.
39) Anatomischer Heber. §. 45.
40) Hydrostatischer Blasbalg. §. 46.
41) Apparat von Paskal für den Bodendruck des Wassers. §. 47. oder statt dessen den Apparat von Haldat. §. 48.
42) Apparat, um den Aufdruck des Wassers zu zeigen. §. 49.
43) Communicirende Röhren. §. 50.
44) Elliptische Walzen aus Holz und Kork für das Gleichgewicht schwimmender Körper. §. 51.
45) Vorrichtung, um den Gewichtsverlust untergetauchter Körper zu zeigen. §. 51 a.
46) Cartesianischer Taucher. §. 52.
47) Gläschen mit aufgeschliffenem Deckel. §. 53.
48) Glaskugel mit Quecksilber beschwert. §. 53.
49) Nicholson'sches Aräometer. §. 54.
50) Volumeter. §. 55.
51) Aräometer nach specifischem Gewichte. §. 60.
52) Alkoholometer nach Tralles. §. 58.
53) Aräometer nach Beck und Baumé. §. 59.
54) Glascylinder, oben erweitert, für die Aräometer. §. 58.
55) Verschiedene mit weiten Röhren communicirende Haarröhrchen. §. 61.
56) Vorrichtung für die Endosmose. §. 62.
57) Einerseits zugeschmolzene Glasröhren von 6—30 Zoll Länge für den Versuch von Torricelli. §. 63.
58) Ein Gefäßbarometer mit birnförmigem Gefäße. §. 64.
59) Ein Gefäßbarometer mit unten angesetztem Gefäße.
60) Ein Heberbarometer.
61) Ein Haygnes'sches Doppelbarometer.
62) Vorrichtuug zur Demonstration des Mariotte'schen Gesetzes. §. 65.
63) Luftpumpe. §. 66.
64) Einige Glocken dazu, darunter eine mit Stopfbüchse.
65) Magdeburger Halbkugeln. §. 71, 2.
66) Ring von Glas oder Metall zum Blasensprengen. §. 71, 3.
67) Ganzes Barometer mit zugehöriger Glocke. §. 71, 4.
68) Weckerwerk zu Schallversuchen im leeren Raume. §. 71, 6.
69) Vorrichtung, um Wasser durch Aether oder Schwefelsäure gefrieren zu machen. §. 71, 8.
70) Flintenschloß, um zu zeigen, daß der Stahl kein Feuer giebt im luftverdünnten Raume. §. 71, 11.
71) Vorrichtung, um zu zeigen, daß der Heber im verdünnten Raume nicht fließt. §. 71, 12.
72) Vorrichtung für den Quecksilberregen. §. 71, 13.
73) Compressionsgefäß von Glas.
74) Einfaches Manometer. §. 71, 16.
75) Heronsball von Metall, für comprimirte Luft. §. 71, 17.
76) Glasballon mit Hahn zum Abwägen der Luft. §. 71, 19.

77) Fallröhre. §. 71, 20.
78) Wagmanometer.
79) Windbüchse. §. 73.
80) Zauberbecher. §. 74.
81) Unterbrochener Heber. §. 74.
82) Stechheber von Glas. §. 75.
83) Pipette. §. 75.
84) Zaubertrichter. §. 75.
85) Heronsbrunnen von Blech. §. 76.
86) Modelle von Saug= und Druckpumpen. §. 77.
87) Intermittirende Brenner §. 78.
88) Platinschwamm=Zündmaschine. §. 79.
89) Luftballon aus Goldschlägerhaut. §. 80.
90) Glasballon mit Hahn zum Füllen des Luftballons. §. 80.
91) Parabolische Maschine. §. 85.
92) Schwungmaschine mit den nöthigen Aufsätzen. §. 86.
93) Bohnenberger'sches Maschinchen. §. 88.
94) Centrifugal=Eisenbahn. §. 88.
95) Vorrichtung für den Fall durch Bogen und Sehne. §. 89.
96) Vorrichtung für Pendelversuche. §. 90.
97) Reversionspendel. §. 90.
98) Secundenpendel mit Schlag. §. 91.
99) Stoßmaschine. §. 91.
100) Trikometer. §. 92.
101) Gefäß für Ausflußversuche. §. 93.
102) Mariotte'sches Gefäß. §. 94.
103) Segner'sches Wasserrad. §. 96.
104) Gasometer. §. 97.
105) Vorrichtung für den Versuch von Clement. §. 99.
106) Vorrichtung für die Erläuterung des Locomotivblasrohrs. §. 100.

B. Zur Lehre vom Schall.

107) Wellenscheiben. §. 101.
108) Ein weiches dünnes Seil von 20—40 Fuß Länge.
109) Halter für Scheiben zu Klangfiguren. §. 104.
110) Scheiben, viereckig, dreieckig, rund, aus Glas und Messing, für Klangfiguren. §. 104.
111) Violoncellbogen.
112) Einige Orgelpfeifen. §. 106.
113) Pfeifenkopf mit abnehmbarem Körper aus Holz, Pappe und Metall. §. 108.
114) Ausziehbare Röhre aus Pappe, die mit einer Glocke tönt. §. 109.
115) Glasröhre, 1—2 Zoll weit, 3—4 Fuß lang, zur chemischen Harmonika und dem Versuche von Hopkins zum Nachweisen der Schwingungsknoten. §. 110.
116) Sirene, oder entsprechende Vorrichtung an die Schwungmaschine. §. 112.
117) Monochord. §. 113.
118) Einige Stäbe aus Glas und Holz für Längenschwingungen. §. 114.
119) Zwei Stimmgabeln. §. 115.
120) Gablige Röhre für die Interferenz der Schallwellen. §. 116.
121) Glasröhre mit Kautschuck zur Erläuterung des menschlichen Stimmorgans. §. 117.

C. Zur Lehre vom Lichte.

122) Ein Stückchen Blattgold zwischen Glas. §. 119.
123) Photometer. §. 120.
124) Ebener Spiegel. §. 123.

125) Ebener Spiegel, aber geschwärzt. §. 123.
126) Winkelspiegel. §. 123.
127) Heliostat. §. 124.
128) Langer Balken für Spiegelversuche und dergleichen. §. 125.
129) Concavspiegel. §. 125.
130) Convexspiegel. §. 126.
131) Vorrichtung, um das Gesetz der Brechung zu zeigen. §. 127.
132) Prisma aus Flintglas. §. 130.
133) Hohlprismen für Flüssigkeiten. §. 130.
134) Oscillirendes Prisma. §. 131.
135) Ein großes Converglas von 2 bis 3 Fuß Brennweite.
136) Ein Converglas von 3 bis 6 Fuß Brennweite.
137) Mehrere kleinere Convergläser nebst einem Concavglase und converem und concavem Meniscus.
138) Verschiedene Schirme von 1 bis 10 Quadratfuß, einer der kleineren mit Strohpapier bezogen. §. 125.
139) Hohle Glaskugel von 4 — 6 Zoll Durchmesser für die Lehre vom Regenbogen. §. 132.
140) Optometer. §. 135.
141) Bemalte Scheiben zu Farbenspindel. §. 137.
142) Thaumatrop oder stroboskopische Scheiben. §. 138, 139.
143) Gefärbte Papiere und Gläser. §. 140, 141.
144) Camera obscura. §. 142.
145) Sonnenmikroskop. §. 143.
146) Zusammengesetztes Mikroskop. §. 144.
147) Rheita'sches, terrestrisches Fernrohr. §. 145.
148) Holländisches Fernrohr. §. 145.
149) Interferenzspiegel. §. 146.
150) Verschiedene Schieber, Spalten und Schirme zu Interferenzversuchen. §. 146, 151.
151) Biprisma. §. 147.
152) Vorrichtung, um die Newton'schen Farbenringe bequem zu zeigen. §. 148.
153) Polarisationsapparat mit verschiedenen Analysirungsapparaten dazu. §. 153.
154) Turmalinzange.
155) Eine Anzahl parallel und senkrecht zur Are geschliffener Krystallplatten. §. 163.
156) Hölzernes Modell eines Doppelspathes mit den verschiedenen Schnitten. §. 159.
157) Doppelspath Krystall. §. 159.
158) Nikol'sche Prismen. §. 162.
159) Glasröhre für die Kreispolarisation in Flüssigkeiten. §. 171.
160) Glaspresse. §. 172.
161) Verschiedene Stücke von schnell gekühltem Glase. §. 172.
162) Daguerrotypapparat. §. 173.

D. Zur Lehre vom Magnetismus.

163) Natürlicher Magnet. §. 179.
164) Eine Anzahl gerader Magnetstäbe und Armatur dazu, um sie nach Belieben in Bündel vereinigen zu können. §. 175.
165) Ein Magnetstab mit Folgepunkten. §. 187.
166) Ein hufeisenförmiger Magnet aus mehreren Lamellen. §. 175.
167) Einige Magnetnadeln. §. 180.
168) Boussole. §. 181.
169) Eine Anzahl verschiedener Stückchen von weichem Eisen. §. 187.
170) Einfaches Declinatorium. §. 189.
171) Einfaches Inclinatorium. §. 190.

E. Zur Lehre von der Elektricität.

172) 2 bis 4 Fuß langer Stab aus weichem Eisen für die Induction durch Erdmagnetismus. §. 191.
173) Eine Anzahl Haken und Ketten. §. 196.
174) Glasstange zur Hälfte mattgeschliffen. §. 197.
175) Hollundermark und Elektroskop. §. 197.
176) Elektrischer Balancier. §. 198.
177) Quadranten-Elektrometer. §. 200.
178) Strohhalm-Elektrometer. §. 201.
179) Goldblatt-Elektrometer. §. 201.
180) Bohnenberger'sches Elektrometer. §. 204.
181) Probescheibchen. §. 207.
182) Elektrisirmaschine. §. 208.
183) Zwei Isolirschemel. §. 215.
184) Elektrisches Glockenspiel. §. 216.
185) Elektrisches Flugrad. §. 216.
186) Metallene Platten zum elektr. Tanz. §. 216.
187) Elektrische Pistole. §. 216.
188) Vorrichtung, um die Wirkung der Spitzen zu erläutern. §. 218.
189) Vorrichtung, um zu zeigen, daß sich die Elektricität nur auf der Oberfläche verbreite. §. 219.
190) Zwei Vertheilungs-Conductoren. §. 220.
191) Vorrichtung zur Erläuterung der Theorie der Flasche. §. 222.
192) Eine Anzahl kleinerer und größerer Leidner Flaschen. §. 223.
193) Fränklin'scher Quadrant.
194) Gewöhnlicher Auslader. §. 224.
195) Hennley'scher Auslader. §. 225.
196) Lanne'sche Flasche. §. 226.
197) Vorrichtung, um Schießpulver zu entzünden. §. 228, 5.
198) Glaspresse. §. 228, 6.
199) Donnerhaus. §. 228, 10.
200) Elektrischer Mörser. §. 228, 11.
201) Elektrophor. §. 229.
202) Condensator. §. 231.
203) Blitzröhre. §. 232.
204) Leuchtender Name. §. 232.
205) Blitztafel. §. 232.
206) Vorrichtung zu elektr. Versuchen im luftverdünnten Raume. §. 232.
207) Platten aus Kupfer und Zink mit isolirten Handhaben für den Volta'schen Fundamentalversuch. §. 236.
208) Aus Kupfer und Zink zusammengelöthete Platte. §. 236.
209) Vorrichtung, um zu zeigen, daß auch Flüssigkeiten mit Metallen Elektricität geben. §. 237.
210) Kleine galvanische Säule. §. 238.
211) Eine Anzahl Klemmschrauben und Quecksilbernäpfe. §. 239.
212) Einzelnes Wollaston'sches Element. §. 240.
213) Hare'sche Spirale. §. 241.
214) Zamboni'sche Säule. §. 243.
215) Galvanische Batterie von 6 bis 12 kräftigen constanten Elementen. §. 244.
216) Von den nicht unter 189 gewählten übrigen constanten Ketten ein einzelnes Element.
217) Ein Paar gestielte Platten aus Kupfer und Zink. §. 250.
218) Ein Paar gestielte Handgriffe aus Kupfer oder Messing. §. 250.
219) Blitzrad. §. 251.
220) Vorrichtung für Kälteerregung durch den elektrischen Strom. §. 253.
221) Wasserzersetzungsapparat. §. 254.

Register.

Frick, Joseph

Physikalische Technik oder Anleitung zur Anstellung von physikalischen Versuchen und zur Herstellung von physikalischen Apparaten mit möglichst einfachen Mitteln

Braunschweig 1850